Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Strom des M. gastroknemius des Frosches.

Von

E. du Bois-Reymond.

§. I. Einleitung.

In der Abhandlung „Ueber das Gesetz des Muskelstromes, mit besonderer Berücksichtigung des M. gastroknemius des Frosches" in diesem Archiv, 1863, verglich ich den Gastroknemius einem natürlichen Muskelrhombus. Der untere schräge Querschnitt des Rhombus ist der Achillesspiegel. Der obere schräge Querschnitt, den ich Kniespiegel nenne, ist in seiner Längsmittellinie zusammengeknickt, so dass symmetrische Punkte seiner beiden Hälften aufeinandertreffen; die beiden Hälften sind mit einander verwachsen, und der Kniespiegel ist so gleichsam in der Muskelmasse vergraben.

Wie ich gleichfalls damals zeigte, entspricht jedoch die Vertheilung der elektrischen Spannung an der Oberfläche des Gastroknemius nicht der, die man nach dem anatomischen Befund auf den ersten Blick erwarten sollte. Vielmehr lässt sich diese Vertheilung bereits ganz befriedigend ableiten aus dem Gegensatz zwischen Längsschnitt und schrägem natürlichen Querschnitt, verbunden mit der aufsteigenden säulenartigen Thätigkeit einer unter dem Achillesspiegel vorhandenen elektromotorischen Grenzschicht. In der Abhandlung „Neue Versuche über den Einfluss gewaltsamer Formver-

änderungen der Muskeln auf deren elektromotorische Kraft"[1]) lehrte ich übrigens den Achillesspiegel mit den daran haftenden elektromotorischen Grenzschichten in Gestalt eines nach Art einer Säule absteigend wirksamen Bandes präpariren.

Es blieb also die Frage zu beantworten, was die elektromotorische Thätigkeit des Kniespiegels hervorzutreten verhindere. In Folge dieser Thätigkeit müsste, bei gleicher Wirksamkeit und Länge beider Spiegel, die Hauptsehne des Muskels, als obere spitze Rhombusecke, eben so negativ sich verhalten wie die Achillessehne; der obere Rand des Achillesspiegels, das untere Ende des Sehnenstreifes an der Tibialfläche, müssten als stumpfe Rhombusecken die positivsten Punkte der Muskeloberfläche sein. Ueberträfe der Kniespiegel den Achillesspiegel an Wirksamkeit, so müsste zwischen Haupt- und Achillessehne der Strom absteigen u. s. w. Die Richtigkeit letzteren Schlusses bewies ich, indem ich den Kniespiegel mehr oder minder vollständig in künstlichen Querschnitt verwandelte, wozu ich zwei Methoden angab.

Die eine bestand darin, den Muskel von der Tibialfläche her längs der sehnigen Scheidewand aufzuschlitzen. So gelingt es, den Gastroknemius etwa halb so stark absteigend wirksam zu machen, wie er durch Aetzen des Achillesspiegels mit Kreosot aufsteigend wirksam wird. Die absteigende Kraft wächst eine Zeit lang, unstreitig weil die auf der Scheidewand stehen gebliebenen Stoppeln der durchschnittenen Bündel, die einen aufsteigenden Neigungstrom erzeugen, allmählich absterben[2]). Die zweite Methode, welche zuweilen fehlschlägt, bestand darin, den Muskel der Länge nach so weit zu dehnen, dass seine Bündel zu reissen anfangen. Aus unbekanntem Grunde geschieht dies an der Ansatzstelle der Bündel an die sehnige Scheidewand. Die Bündel erleiden hier eine tödtliche Zerrung, und so wird gleichsam subcutan ein mechanischer künstlicher Querschnitt längs der Scheidewand hergestellt[3]). Eine so starke Dehnung

---

1) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1867. S. 572.

2) Dieses Archiv, 1863, S. 611. 612.

3) Monatsberichte a. a. O. S. 592. 593.

des Muskels nenne ich beiläufig Ueberdehnung, den so behandelten Muskel einen überdehnten.

Auch chemisch lässt sich drittens, wie ich seitdem fand, der Kniespiegel theilweise in künstlichen Querschnitt verwandeln. Es genügt, mit der Spitze eines in Kreosot oder verdünnte Milchsäure getauchten Pinsels längs dem Sehnenstreif an der Tibialfläche[1]) einen Strich zu führen, um sogleich die positive Wirksamkeit des Muskels zwischen Haupt- und Achillessehne sinken, bei höherer Parelektronomie des Achillesspiegels häufig den Muskel negativ wirksam werden zu sehen. Wird der Strich in der Mitte zwischen Sehnenstreif und Rand des Achillesspiegels geführt, so erhält man nur schwache, bald negative, bald positive Wirkung, welche auf dem Unterschied der Neigungsströme vom inneren und vom äusseren Rande des Striches aus beruhen mag. Trifft der Strich den Rand des Achillesspiegels selber, so ist die Wirkung wieder stärker, und zwar positiv. Wie kaum gesagt zu werden braucht, erstreckt sich die Wirkung des Pinselstriches nur in geringe Tiefe. Bei weitem nicht die ganze Fläche der sehnigen Scheidewand wird davon erreicht, sondern die absteigende Kraft geht von den Enden der oberflächlichen Bündel in und zunächst unter der Tibialfläche aus. Nebenher lehren diese Versuche, dass, wenn man die volle Wirkung des Achillesspiegels nach aufgehobener Parelektronomie zu erhalten wünscht, man nicht den Muskel in die ätzende Flüssigkeit tauchen muss, da das Bad auch auf den Kniespiegelstrom entwickelnd wirkt.

Je schlagender diese Erfolge sind, und je sicherer sie, den des Ueberdehnens ausgenommen, von der Theorie vorhergesagt waren, um so mehr fordern sie zur Erklärung des Umstandes heraus, dass für gewöhnlich die Wirkung des Kniespiegels sich nicht geltend macht. Elektromotorische Unwirksamkeit, ja negative Wirkung des Gastroknemius kommt zwar häufig vor. Wir haben aber bisher diese Erscheinung stets allein auf höhere Parelektronomie des Achillesspiegels gedeutet.

In der Abhandlung „Ueber das Gesetz des Muskel-

1) Dieses Archiv, 1863, S. 530. Taf. XIV, Fig. 4. $\Gamma'\varrho\Gamma'_{,}$.

stromes u. s. w." wurden für die geringe Wirksamkeit des Kniespiegels zwei Gründe angeführt. Ein Blick auf die Tibialfläche des Gastroknemius lehrt, dass die Bündel, je mehr nach oben, unter um so weniger spitzen Winkeln an die sehnige Scheidewand stossen, so dass sie schliesslich einander fast gerade begegnen[1]). Dadurch muss bei gleicher Negativität die Neigungsstromspannung des Kniespiegels erheblich kleiner als die des Achillesspiegels ausfallen. Da aber dieser Grund mir nicht ausreichend schien, nahm ich zweitens an, dass der Kniespiegel stets auf verhältnissmässig hoher Stufe der Parelektronomie verharre[2]). Indem ich den Gastroknemius der Länge nach zerriss, gelang es mir wirklich in mehreren Fällen hohe Parelektronomie des Kniespiegels nachzuweisen. Inzwischen war theoretisch nicht abzusehen, weshalb der Kniespiegel mehr als der Achillesspiegel parelektronomisch sein sollte, so lange nicht der Muskel schädlichen Einflüssen unterliegt, denen freilich der Kniespiegel mehr als der Achillesspiegel entzogen ist.

Jetzt bin ich zu Thatsachen gelangt, welche das hier noch vorhandene Dunkel lichten, und im Grunde erst eine ganz klare Einsicht in die Art gewähren, wie die elektromotorischen Wirkungen des Gastroknemius nach aussen zu Stande kommen. Bei einer anderen Gelegenheit wird die Ausführlichkeit, mit der ich diese Thatsachen darzulegen gedenke, durch die Wichtigkeit sich rechtfertigen, die sie dann erlangen werden.

§. II. Die verschiedenen Punkte des Achillesspiegels wirken um so stärker aufsteigend nach Art einer Säule, je tiefer sie liegen.

In der Absicht, zu einem hier gleichgültigen Zwecke für die Parelektronomie des Achillesspiegels ein besseres Maass als bisher zu gewinnen, verfuhr ich wie folgt. Aus schwedischem Fliesspapier stanzte ich mit einem Locheisen kreisrunde Scheibchen von 3·5 mm. Durchmesser. Der Gastroknemius lag auf

1) Dieses Archiv, 1863, Taf. XIV, Fig. 4.
2) Dieses Archiv, 1863, S. 605.

der bekannten dreieckigen Glasplatte mit dem Achillesspiegel nach oben, oder er war in der kleinen Streckvorrichtung mässig ausgespannt; im letzteren Falle war ihm das obere „Knochenstück“ gelassen[1]). Der Hauptsehne, beziehlich dem oberen Knochenstück, und der Achillessehne angelegt waren entweder die Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren, oder die Thonschilder der Zuleitungsgefässe. Der Strom war compensirt, die elektromotorische Kraft am runden Compensator abgelesen. Brachte ich nun auf den Achillesspiegel eines jener Scheibchen mit verdünnter Milchsäure ($\overline{L}$:HO::1:1) getränkt, so entstand eine positive Ablenkung, weil in dem vom Scheibchen berührten Bezirke die parelektronomische Schicht zerstört wurde. Das Wachsen der Ablenkung war in höchstens $1^3/_4$ Minuten beendet. Wurde der Strom wieder compensirt, so gab der Unterschied der elektromotorischen Kräfte vor und nach Einwirkung des Scheibchens ein Maass für die Parelektronomie des Achillesspiegels; und indem ich, nach gewissen experimentellen Maassnahmen, den Versuch an einer anderen Stelle des Spiegels wiederholte, dachte ich durch den vergrösserten oder verkleinerten Erfolg zu erfahren, ob durch diese Maassnahmen die Parelektronomie beziehlich zu- oder abgenommen habe.

Zuvor jedoch musste ermittelt werden, ob ohne jene Maassnahmen die entwickelnden Scheibchen an allen Stellen einerlei Wirkung üben. Es zeigte sich, dass dies nicht der Fall war, und zwar gab sich in der Wirkung der Scheibchen an verschiedenen Stellen eine sehr auffallende Gesetzmässigkeit kund.

Legte ich das erste Scheibchen dem Spiegel in solcher Höhe an, dass noch ein oder zwei andere Scheibchen daneben in gleicher Höhe Platz hatten, so wirkte ein zweites in gleicher Höhe angebrachtes Scheibchen schwächer als das erste ein drittes schwächer als das zweite. Doch war der Unterschied zwischen den Wirkungen des ersten und zweiten Scheibchens

1) Untersuchungen über thierische Elektricität. 2. Bd. 1. Abth. Berlin, 1849. S. 67. Taf. I, Fig. 86. — Vergl. Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 580.

nur klein, so dass er im einzelnen Falle leicht durch Zufälligkeiten verdeckt wurde, und sicher nur im Mittel aus mehreren Versuchen hervortrat, z. B.:

Gastrokneimus.	Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden.	Zuwachs durch das		
		1. Scheibchen in der Medianlinie.	2. Scheibchen nach Innen von 1.	3. Scheibchen nach Aussen von 1.
I.	— 7	+ 87	+ 92	+ 59
II.	— 3	+ 81	+ 106	+ 87
III.	+ 84	+ 115	+ 74	+ 71
IV.	+ 300	+ 209	+ 108	+ 44
Mittel	+ 93·5	+ 123·0	+ 95·0	+ 65·2

Das Auflegen eines neuen Scheibchens geschah stets nach je 120 Secunden, von denen etwa 110 auf Entwickelung und Compensiren des Zuwachses, die übrigen 10 auf Ergreifen, Tränken und Auflegen des zweiten Scheibchens kamen.

Innerhalb der möglichen Grenzen der Genauigkeit ist es gleichgültig, ob man das erste Scheibchen wie im obigen Falle in der Medianlinie, oder seitlich davon auflegt.

Nun aber denke man sich die Scheibchen nach einander in verschiedener Höhe aufgelegt. Gleichviel alsdann, ob man von oben oder von unten beginne, ob man bald höher, bald tiefer, bald in der Mitte, bald mehr nach Innen oder mehr nach Aussen ein Scheibchen anbringe, das beständige Ergebniss ist, dass die Scheibchen einen um so grösseren Zuwachs an aufsteigender Kraft bewirken, je tiefer sie aufgelegt werden. Unsicherheit in dieser Beziehung beginnt erst in der Nähe des oberen Randes des Spiegels; auf dem Längsschnitt an der Rückenfläche des Muskels aber wird der durch das Scheibchen scheinbar hervorgebrachte Zuwachs negativ. Folgende Beispiele genügen, um einen Begriff von der Deutlichkeit dieses Verhaltens zu geben.

Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden. . .		Gastroknemius.					Mittel aus 10 Versuchen.	Zweite Differenzen.
	. .	I. – 29	II. + 26		III. + 53	IV. + 95	+ 73·0	
		Von unten herauf			Von oben herab			
Zuwachs durch L̄-Scheibchen	1	+266	+363	5	+213	+231	+238·2	
	2	205	201	4	131	105	156·7	+81·5
	3	140	90	3	73	77	83·9	62·8
	4	91	120	2	86	50	71·9	12·0
	5	68	43	1	70	38	64·3	7·6

Die in der letzten Spalte angegebenen zweiten Differenzen oder Differenzen der Zuwachse, nach den Mittelzahlen aus 10 (den obigen 4 und noch 6 anderen) Versuchen berechnet, zeigen, dass die Wirkung der Scheibchen um so langsamer abnimmt, je mehr man dem oberen Rande des Spiegels sich nähert.

Werden die Scheibchen statt mit leitender Milchsäure mit nichtleitendem Kreosot getränkt, so ist beim Auflegen sowohl in gleicher wie in verschiedener Höhe der Erfolg im Allgemeinen der nämliche.

§. III. Die stärkere elektromotorische Wirkung tieferer Stellen des Achillesspiegels rührt vorzüglich daher, dass die hier geringere Muskelmasse schlechtere Nebenschliessung für den Bussolkreis abgiebt.

Beim Nachdenken über die Ursache dieser Erscheinungen suchte ich sie zuerst in der mit wachsender Höhe etwas abnehmenden Neigung der Bündel gegen den Achillesspiegel, und es ist möglich, dass dieser Umstand dabei im Spiel ist. Der weitaus grösste Theil des Unterschiedes zwischen der Wirkung höher und tiefer gelegener Punkte des Achillesspiegels ist aber sicher anderen Ursprungs.

Schon früher habe ich einsichtlich gemacht, „dass in dem „Gastroknemius, auch ohne daran gelegten Bogen, die von dem „Achillesspiegel, gleichsam als plattgedrückter, nicht isolirter

„Säule ausgehende Strömung kreist.“ Die Strömung im Achillesspiegel ist aufsteigend, die durch die Muskelmasse also absteigend. „Eine nothwendige Folge davon ist, dass die Masse „des Muskels für den von jener Strömung in einen angelegten „Bogen übertretenden Zweig eine Nebenschliessung bildet.“ Wegen Wegfalls dieser Nebenschliessung zeigt ein der Länge nach aus dem Achillesspiegel geschnittenes Band einen grösseren Spannungsunterschied seiner Enden, als der unversehrte Muskel selber zwischen Haupt- und Achillessehne[1]).

Die Muskelmasse nimmt nun aber von unten nach oben bis in die Gegend zu, wo der Achillesspiegel in den Längsschnitt der Rückenfläche übergeht. Fasst man, um in der Sprache meiner Hypothese zu reden, in der elektromotorischen Grenzschicht des Achillesspiegels eine quere Molekelreihe in's Auge, die der Muskeloberfläche entlang eine aufsteigende Stromcomponente sendet, so wird von deren Strömung ein um so kleinerer Theil in den Bussolkreis gelangen, je höher sie liegt, weil um so besser die Nebenschliessung ist, welche in Bezug auf jenen Kreis die Muskelmasse für die Strömung bildet.

Dies lässt sich bequem mit Hülfe des von Hrn. Helmholtz bewiesenen fruchtbaren Satzes darthun, welcher lautet: „Wählt man im Inneren eines zusammengesetzten, „aber nicht elektromotorisch wirksamen Leitersys„tems zwei beliebig gelegene Flächenelemente a „und b, und ertheilt erst dem a, dann dem b eine „gleiche elektromotorische Kraft, so fliesst im er„sten Falle durch b so viel Elektricität, wie im „zweiten Falle durch a.“[2]) Wir ersetzen zwei in verschiedener Höhe gelegene dipolare Molekeln der Grenzschicht des Achillesspiegels durch elektromotorische Flächenelemente von gleicher Ausdehnung und Wirkung. Die Kraft dieser Elemente verlegen wir nacheinander in einen der Einfachheit halber

1) Monatsberichte u. s. w. A. a. O. 1867, S. 587.

2) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 353.

gleich gross gedachten Querschnitt des linearen Bussolkreises. Dass die Dichtigkeit des dadurch im Gastroknemius erzeugten Stromes im dünneren Theile des Muskels grösser sein werde, als im dickeren, bedarf nicht des Beweises. Das tiefer gelegene Element wird also von der grösseren, das höher gelegene von der kleineren Elektricitätsmenge durchflossen. Umgekehrt jenes sendet die grössere, dieses die kleinere Elektricitätsmenge durch einen Querschnitt des Bussolkreises.

So begreift man, auch unter der Annahme gleicher elektromotorischer Kraft in verschiedenen Gegenden des Spiegels, dass von dessen unteren Theilen stärkere Ströme in den Bussolkreis übergehen, als von den oberen. Da der Muskel von den Enden nach der Mitte mit nach aussen convexer Krümmung anschwillt, müssen nach oben zu die Unterschiede der Zuwachse abnehmen.

Wendet man den Helmholtz'schen Satz auf den Fall an, wo mehrere Scheibchen in gleicher Höhe angebracht werden, so stimmt die Theorie nicht ohne Weiteres mit der Beobachtung. Ein elektromotorisch wirksamer Querschnitt des linearen Bussolkreises würde durch jedes im Achillesspiegel gleich hoch liegende und gleichgerichtete Flächenelement einen merklich gleich starken Strom schicken. Ein jedes Element sendet also auch umgekehrt durch den Bussolkreis merklich gleich viel Elektricität, wie darin sich zeigt, dass das erste Scheibchen, gleichviel ob in der Mitte oder seitlich angebracht, ungefähr gleich stark wirkt. Die Ströme der einzelnen Elemente aber summiren sich einfach nach dem Grundsatz der Superposition[1]), und somit müsste jedes neue Scheibchen zum Gesammtstrome gleich viel beitragen. Dass dies nicht geschieht, erklärt sich daraus, dass jedes aufgelegte Milchsäurescheibchen eine besserleitende Nebenschliessung bildet, welche die Stromcurven in sich verdichtet. Da die Leitungsgüte der Muskelsubstanz durch Absterben wächst[2]), wirkt auch der angeätzte Be-

1) Poggendorff's Annalen u. s. w. A. a. O. S. 212.

2) Ranke, Tetanus. Eine physiologische Studie. Leipzig, 1865. S. 36. 37.

zirk unter dem Scheibchen als schwächende Nebenschliessung. So wird verständlich, dass auch mit Kreosot getränkte Scheibchen nach einander in gleicher Höhe aufgelegt abnehmende Zuwachse erzeugen. Doch müsste die Abnahme bei Kreosot langsamer erfolgen als bei Milchsäure, wo auch das Scheibchen selber als Nebenschliessung wirkt. Dass dies der Fall sei, habe ich noch nicht festzustellen versucht.

Die Wirkung eines am natürlichen Längsschnitt über dem Rande des Achillesspiegels aufgelegten Scheibchens ist gleichfalls noch nicht ganz aufgeklärt. Legt man das Scheibchen zuletzt auf und lässt es so lange liegen wie die Scheibchen auf dem Achillesspiegel, so kann bei völliger Unwirksamkeit des Scheibchens ein negativer Zuwachs dadurch vorgespiegelt werden, dass die Wirksamkeit der früher geätzten Stellen sinkt. Man erhält aber auch im Augenblick des Auflegens bald positive, bald negative Ausschläge, die also keinen solchen Ursprung haben können. Für diese lassen verschiedene Gründe sich anführen. Erstens bewirkt das Scheibchen theils an sich, theils durch Anätzen des Muskels eine Verbesserung der Leitung an der Muskeloberfläche zwischen Achillesspiegel und Hauptsehne. Dadurch kann es sichtlich nur den vom Achillesspiegel in den Bussolkreis tretenden Stromzweig vergrössern. Ein anderer Grund dafür, dass das Scheibchen allein durch Aenderung der Leitungsverhältnisse einen positiven Zuwachs erzeuge, wird uns unten klar werden. Endlich kann das Scheibchen am Längsschnitt noch wirken durch Erzeugung chemischen Querschnittes an seinem oberen und unteren Rande. Unter sonst gleichen Umständen müsste wegen der nach der Hauptsehne zu wieder abnehmenden Dicke des Muskels der obere, aufsteigend wirksame Querschnitt die Oberhand haben. Ich habe noch keine nachhaltigen Bestrebungen darauf gerichtet, den Thatbestand mit diesen theoretischen Forderungen in Einklang zu bringen, was kaum der Mühe lohnen möchte.

§. IV. Durch eine dem Gastroknemius angelegte, körperliche Nebenleitung, welche dessen Gestalt zum Cylinder ergänzt, lässt der Unterschied in der elektromotorischen Wirkung verschieden hoher Punkte des Achillesspiegels sich ausgleichen.

Obschon die Ursache der verschieden starken Wirkung verschieden hoch dem Achillesspiegel angelegter ätzender Scheibchen nach dem Obigen genugsam einleuchtete, war ich doch bemüht, einen unmittelbaren experimentellen Beweis für die Richtigkeit meiner Schlüsse mir zu verschaffen. Dazu versuchte ich, den Unterschied in der Nebenschliessung, welche die Muskelmasse in verschiedenen Höhen dem Achillesspiegelstrom in Bezug auf den Bussolkreis bietet, künstlich auszugleichen. Ich bettete nämlich den Muskel mit seiner Tibialfläche auf ein Lager aus Thon, der mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung angeknetet war. Der Thon ergänzte die nach unten verjüngte Gestalt des Muskels etwa zu der eines Cylinders von nur wenig grösserem Durchmesser als der des dicksten Theiles des Muskels. An der Rückenfläche des Muskels liess er einen Streif von hinlänglicher Breite frei, um die Scheibchen aufzulegen. Die Berührung des Thones mit dem Achillesspiegel übt auf die parelektronomische Schicht bekanntlich keinen Einfluss[1]). Diese Versuchsweise lieferte ein sehr schlagendes Ergebniss, wie folgende Zahlen lehren.

		Gastroknemius I.	Gastroknemius II.
Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden	ohne Thon	+ 25	+ 157
	mit Thon	− 12	+ 57
	Von unten herauf.		
Zuwachs durch L-Scheibchen	1	+ 45	+ 25
	2.	39	24
	3.	36	23
	4.	39	30
	5.	48	59
Schliessliche Wirkung	mit Thon	195	295
	ohne Thon	527	706

1) Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. Abhandlungen der Akademie aus dem Jahre 1862. Berlin. 1863. 4°. S. 94. 95.

Während in den früheren Versuchen die Zuwachse bei Auflegen der Scheibchen bis zum fünften Scheibchen rasch abnehmen, sinken sie jetzt von absolut geringerer Höhe zwar, jedoch ohne Vergleich langsamer und nur bis zum dritten Scheibchen herab, wachsen von hier an wieder, und werden am oberen Rande des Spiegels sogar grösser als an der Achillessehne. Da der Thon nur als Leiter wirkt, kann sonach kein Zweifel an der Richtigkeit der Deutung mehr sein, die wir von jenen früheren Ergebnissen gaben. Die stärkere Wirkung der unteren Scheibchen am nicht auf Thon gebetteten Muskel rührt her von der geringeren Nebenschliessung, welche die nach der Sehne hin sich verjüngende Muskelmasse dem Achillesspiegelstrom bietet.

§. V. Der eigenthümliche Widerstand des Muskels, des Thones und der verdünnten Steinsalzlösung wird bestimmt.

Vor Allem wird nun nöthig, den Widerstand des Thones im Vergleich zu dem des Muskels zu kennen, und auch der Widerstand der Steinsalzlösung, mit welcher der Thon angeknetet ist, wird uns bald von Interesse werden.

Erste Bedingung für diese Bestimmungen ist, den feuchten Leitern prismatische Gestalt, wo möglich auch gleiche Dimensionen zu ertheilen. Dies gelingt auf dem von Hrn. Ranke angegebenen Wege, indem man sie in Glasröhren von gleichen Dimensionen bringt, die sie genau ausfüllen [1]). Aus einem 4·6 mm. weiten, gut cylindrischen Rohre wurden drei 25 mm. lange Stücke geschliffen. Um die untere Sehne des Gracilis oder Semimembranosus eines mittelgrossen Frosches knüpfte ich einen starken Faden, zog daran den Muskel in eines der Rohre, so dass beiderseits gleichviel hervorsah, und schnitt das Ueberstehende in einer Flucht mit den Mündungen des Rohres ab. Die Muskeln füllten den Querschnitt des Rohres strotzend aus. In ein anderes Rohr wurde Thon gepresst und an jedem Ende in einer Flucht mit der Mündung abgeschnitten. Endlich das

1) Tetanus u. s. w. S. 44.

dritte Rohr füllte ich mit der verdünnten Steinsalzlösung, indem ich das eine Ende mit einer aufgeklebten Scheibe schwedischen Fliesspapieres verschloss, das Rohr mittels eines capillaren Hebers vollgoss, und auf das andere Ende eine gleiche Scheibe legte, die durch Luftdruck hinreichend haftete, um dem Rohr jede Stellung geben zu können.

Nun handelte es sich darum, die Rohre in einen Kreis so aufzunehmen, dass 1. der Widerstand des Kreises auch ohne die Rohre bestimmt werden konnte, 2. der Widerstand der Rohre vom Widerstand des Kreises einen hinlänglichen Bruchtheil ausmachte, 3. die Strömung senkrecht auf die Grundfläche der Rohre stattfand.

Zu dem Ende verfertigte ich aus Guttapercha zwei Trichter von 90° Oeffnung und 25 mm. Seitenlänge ihres Kegels Das nur 2 mm. lange Trichterrohr hatte wie die Maassrohre 4·6 mm. Lichtung. Nachdem ich die Trichter mit Thon gefüllt hatte, drückte ich von der Basis aus auf den Thon, bis er aus dem Trichterrohre quoll, und schnitt das Hervorgequollene in einer Flucht mit der Mündung ab. Die Trichter wurden mit ihrer Axe in derselben Wagerechten, mit den Mündungen einander gegenüber aufgestellt, und der Basis der sie erfüllenden Thonmasse wurden die Bäusche der Zuleitungsgefässe möglichst unverrückbar angelegt. Zwischen die innerhalb der Trichterrohre befindlichen, in deren Mündung ihren Querschnitt zur Berührung bietenden cylindrischen Thonzapfen von gleichem Durchmesser mit den feuchten Leitern in den Rohren konnten nunmehr diese behufs der Widerstandsmessung angebracht werden, wobei die obigen Bedingungen 2. und 3. erfüllt waren. Sollte der Widerstand des Kreises ohne die Rohre bestimmt werden, so wurden die Zapfen unmittelbar zur Berührung gebracht.

Die Temperatur aller Theile der Vorrichtung war merklich dieselbe.

Der Widerstand des Kreises wurde gemessen durch die reciproke Grösse des Ausschlages des Bussolspiegels, den der Oeffnungsstrom eines Schlitteninductoriums erzeugte, in dessen primärem Kreise ein Quecksilberschlüssel den Strom einer beständigen Kette unterbrach. Dies Verfahren hatte den Vorzug,

dass die innere Polarisirbarkeit der Muskelsubstanz dabei möglichst unschädlich wurde, und dass von elektromotorischen Kräften im Kreise und Erwärmung der feuchten Leiter durch den Strom keine Störung zu befürchten war.

Nennt man die der Stromstärke proportionalen Ausschläge ohne Rohr i_o, die mit dem Thonrohre, dem Muskelrohre, dem Lösungsrohre beziehlich i_t, i_m, i_l, die zugehörigen eigenthümlichen Widerstände der drei Rohre aber w_t, w_m, w_l, so hat man wegen der gleichen Dimensionen der Rohre

$$w_t : w_m : w_l = \frac{1}{i_t} - \frac{1}{i_o} : \frac{1}{i_m} - \frac{1}{i_o} : \frac{1}{i_l} - \frac{1}{i_o}.$$

Es wurden zwei von einander unabhängige Messungsreihen angestellt, bei deren zweiter die Füllung der Trichter und Rohre erneuert und andere Abstände der Rollen gewählt wurden. In der ersten Reihe war der Muskel der Gracilis, in der zweiten der Semimembranosus. In jeder Reihe beobachtete ich nach einander 5 Werthe von i_o, 5 von i_t, 5 von i_m, 10 von i_l, 5 von i_m, 5 von i_t, und zuletzt wieder 5 von i_o, und nahm das Mittel aus den 10 zu jeder Anordnung gehörigen Zahlen, um vorschreitende Veränderungen des Apparates möglichst auszugleichen. Die Schwankungen betrugen nur wenige Procente der Werthe. Ich erhielt in Scalentheilen:

	i_o	i_t	i_m	i_l
I.	48·0	21·6	30·4	36·8
II.	59·1	23·7	32·6	41·4

Daraus folgt

$$w_t : w_m : w_l = \begin{cases} \text{I.} & 4{\cdot}013 : 1{\cdot}905 : 1{\cdot}000. \\ \text{II.} & 3{\cdot}598 : 1{\cdot}904 : 1{\cdot}000. \end{cases}$$

Die Zahlen für den Widerstand des Muskels bezogen auf den der Lösung als Einheit stimmen in beiden Reihen so überein, dass die sonst hier bedeutungslose dritte Decimale berücksichtigt werden musste, um den Unterschied auszudrücken: eine Gleichheit, wie sie wohl nur das Werk eines günstigen Zufalls sein kann. Absolut sind diese Zahlen beiläufig etwas verfälscht durch Absterben des Muskels am Querschnitt (S.

oben S. 569) und durch die Fliesspapierscheiben an beiden Enden des Lösungsrohres. Die Zahlen für den Widerstand des Thones stimmen ausser Verhältniss schlechter, warum, weiss ich nicht zu sagen.

Der Thon war derselbe, dessen ich mich gewöhnlich bediene Es schien angemessen, einmal seinen procentischen Gehalt x an dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung[1]) festzustellen. Durch Bestimmung der Menge Lösung, die man verbraucht, um eine bestimmte Menge Thon zur richtigen Consistenz anzukneten, gelingt dies nämlich nicht, weil beim Ankneten Thon verloren geht. Dagegen lässt x sich erhalten durch Abwägen eines in Papier gewickelten Thonballens erst im feuchten, dann im lufttrockenen Zustande. Ist das Gewicht zuerst P, dann p, so hat man $x = 100{\cdot}75 \frac{P-p}{P}$. Für den Thon, der zu obigen Versuchen gebraucht worden war, fand ich $x = 21{\cdot}04$. Multiplicirt man diese Zahl mit dem Verhältniss des specifischen Gewichtes des angekneteten Thones zu dem der Lösung, so erhält man den procentischen Gehalt $x_,$ des Thones an Lösung dem Volum nach. Das specifische Gewicht des angekneteten Thones im Mittel aus drei Wägungen in Luft und in Terpenthinöl war = 1·9116, das der Lösung bei 19·7° C. ist = 1·0057, das gesuchte Verhältniss also 1·9011 und $x_, = 39.696$ oder = 40·00. Wäre das Leitvermögen des angekneteten Thones im Vergleich zu dem der Lösung dem Volum letzterer im Thone proportional, so müsste der Widerstand des Thones, bezogen auf den der Lösung als Einheit, $= \frac{100}{40} = 2{\cdot}5$ sein. Dass er in Wirklichkeit grösser (im Mittel der obigen Zahlen = 3·8) gefunden wird, erklärt sich unter Anderem daraus, dass die mit Lösung gefüllten Lücken in zwei aufeinander folgenden dünnen Querscheiben eines Thoncylinders einander nicht entsprechen[2]).

1) Unter dreiviertelprocentiger Lösung ist solche verstanden, zu der dreiviertel Procent ihres Gewichtes an Steinsalz gesetzt sind, nicht solche, welche soviel davon enthält.

2) Wurde der Thon über Schwefelsäure getrocknet, so betrug der

Wie dem auch sei, für gegenwärtigen Zweck genügt uns zu wissen, dass der lebende Muskel fast zweimal, der Thon etwa viermal schlechter leitet, als dreiviertelprocentige Steinsalzlösung, mithin der Thon etwa zweimal schlechter als der lebende Muskel.

§. VI. Umhüllen des Gastroknemius mit Thon, wie überhaupt Anbringen einer guten Nebenschliessung an den Muskel, macht ihn unter Umständen bei Gegenwart der Nebenschliessung negativ wirksam.

Die Tabelle auf S. 571 zeigt noch eine merkwürdige Thatsache, welche der Ausgangspunkt für eine Reihe wichtiger Ermittelungen ward. Man sieht zunächst, dass Betten des Muskels auf Thon die elektromotorische Kraft herabsetzt. Dies war zu erwarten, wenn auch nicht vorherzusehen war, dass eine dem Muskel angelegte Masse, deren Leitvermögen mit dem seinigen von gleicher Ordnung ist, eine solche Schwächung ausüben würde. Die grösste derartige in der Tabelle vorkommende Schwächung beträgt etwa zwei Drittel der Kraft. Umgiebt man aber einen von Natur stark aufsteigend wirksamen oder der parelektronomischen Schicht am Achillesspiegel künstlich beraubten Gastroknemius mit einer mehrere Millimeter dicken, überall anliegenden Thonhülle, aus der nur Haupt- und Achillessehne hervorragen, so kann der Spannungsunterschied dieser Punkte auf $\frac{1}{25}$ von dem sinken, was er ohne Hülle ist. Vergl. übrigens unten S. 578. 579.

Noch weniger vorherzusehen war jedoch, dass Anbringen einer Thonhülle die Richtung des Stromes zwischen Haupt- und Achillessehne des Gastroknemius umzukehren vermag, wie in der Tabelle an dem stark parelektronomischen Gastroknemius 1. vor Auflegen der Scheibchen sich zeigt. Um dieser Wahrnehmung weiter nachzugehen, diente mir folgende Vorrichtung.

Verlust 21·662 %. Es bleiben also im lufttrockenen Thon noch $\frac{2}{3}$ % Wasser zurück, welche bei obiger Berechnung ausser Acht gelassen sind.

Der Gastroknemius war, den Achillesspiegel nach unten, zwischen den Elfenbeinplatten einer Streckvorrichtung [1]) ausgespannt. An der Säule eines der zum Tragen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren bestimmten Ständer [2]) glitt mit Reibung eine etwa 27 mm. breite, gefirnisste Korkplatte auf und ab. In die obere Fläche dieser Platte, die nach Art des Tisches eines Mikroskopes vorsprang, hatte ich dem vorderen Rande parallel eine halbcylindrische Rinne von 13 mm. Durchmesser gefeilt. Die Rinne wurde mit Thon gefüllt, in dem Thon eine der Gestalt des Muskels entsprechende Höhlung modellirt, und diese von unten her zwischen den Elfenbeinplatten der Streckvorrichtung dem Muskel bis zur Berührung genähert. Indem der Thon seitlich gegen den Muskel aufgewulstet und über ihm vereinigt, auch wohl eine Thonmasse über den Muskel fort den aufgewulsteten Rändern der unteren Masse angeknetet wurde, hatte es keine Schwierigkeit, den Muskel so mit Thon zu umgeben, dass nur Haupt- und Achillessehne hervorsahen. Eben so leicht gelang es durch Senken der Korkplatte, ihn aus der Thonhülle, die er dabei zerriss, zu befreien, und sie ihm, nach wieder gehobener Platte, in hinreichend übereinstimmender Art nochmals anzulegen.

Es zeigte sich regelmässig, dass stark parelektronomische, also schwach positiv wirksame Muskeln in der Thonhülle negativ wirken. Entblösst wirken die Muskeln wieder positiv, nur etwas schwächer, und dies Spiel lässt sich viele Male wiederholen, wobei die negative Wirkung im Thon etwas zunimmt, z. B.:

Gastroknemius frei	+ 31	Cgr.;	in	Thon	– 18;
„	+ 8	„ ;	„	„	– 22;
„	+ 12	„ ;	„	„	– 24;
u. s. f.					

Von Entwickelung des Achillesspiegelstromes durch öfteres Anlegen der Thonhülle ist, wie man sieht, jedenfalls nichts zu spüren; die bleibende Veränderung der Resultante im negativen Sinne beruht unstreitig auf vermehrter Leitungsgüte des Perimysiums.

1) Es war die in den Monatsberichten u. s. w., 1867, S. 581. beschriebene.

2) Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. Taf. III. Fig. 2.

Wirkt der Muskel schon ohne Thonhülle absteigend, so erscheint in der Hülle die absteigende Kraft grösser, z. B.:

Gastroknemius frei – 14 Cgr.; im Thon – 34;
" – 16 " ; " " – 39;
u. s. f.

Doch kommt es auch vor, dass die Nebenschliessung den vorhandenen absteigenden Strom schwächt. Von den Bedingungen dieses Erfolges wird unten die Rede sein. Wirkt endlich der Muskel über ein gewisses Maass aufsteigend, so erscheint in der Hülle die Kraft kleiner. Nie wird darin die aufsteigende Kraft verstärkt; sondern mit der eben angedeuteten, noch zu besprechenden Ausnahme kann der Einfluss der Hülle stets als Verstärkung einer absteigenden Wirkung aufgefasst werden, mache nun die Verstärkung sich bemerkbar durch Abnahme aufsteigender, durch Verkehren aufsteigender in absteigende, oder durch Zunahme schon bestehender absteigender Wirkung.

Ueber ein gewisses Maass vergrössert Verdickung der Thonhülle deren Wirkung nicht merklich. Eine Rinne von 17 mm. Durchmesser wirkte nicht stärker als die von nur 13 mm.

Als ich diese Versuche einmal mit zu feuchtem Thon anstellte, der sich nicht rein vom Muskel ablöste, sondern ihn wie beschmiert liess, blieb nach Entfernung des Thones der Muskel nicht nur schwächer aufsteigend, sondern sogar absteigend wirksam. Schon eine so dünne Thonschicht also schien zu der Wirkung auszureichen, um die es sich hier handelt. Ich schloss daraus, dass eine capillare Schicht der viermal besser leitenden verdünnten Steinsalzlösung selber dies vollends thun werde. Wirklich ist dies der Fall. Um den Muskel, je nach seiner ursprünglichen Wirksamkeit, minder stark aufsteigend, statt aufsteigend absteigend, stärker absteigend wirksam zu machen, genügt es, ihn mit der Salzlösung zu bepinseln. Das blosse Anlegen des nassen Pinsels bringt einen negativen Ausschlag hervor, indem der Pinsel als nebenschliessende Masse wirkt. Mit Fliesspapier getrocknet, wirkt der Muskel nahe wie vorhin; von Neuem bepinselt, wieder mehr absteigend, und dies Spiel lässt sich mehrmals wiederholen.

Ich stellte einen parallelepipedischen Porzellantrog von

75 mm. Länge, 45 mm. Breite und 20 mm. Tiefe (eine Streichholzbüchse) so auf, dass ich ihn bequem und sicher heben und senken konnte. Dem in der kleinen Streckvorrichtung ausgespannten Gastroknemius waren oben ein Stück Triceps femoris, unten ein Stück Tarsus gelassen, und mittels durchgezogener Fäden längs den Elfenbeinplatten der Vorrichtung so befestigt, dass sie beim Eintauchen des Gastroknemius in eine Flüssigkeit daraus hervorragten; ihre elektromotorischen Kräfte hatte heisse dreiviertelprocentige Steinsalzlösung vernichtet.

Nachdem ihnen die Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren angelegt worden waren, hob ich den mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung gefüllten Trog dem Muskel so weit entgegen, dass die Lösung den Muskel allseits umgab. Die dadurch erzeugte Nebenschliessung liess vom Spannungsunterschied der berührten Punkte nur etwa den zweihundertsten Theil übrig. Wegen des verminderten Widerstandes des Kreises nahm dabei die Stromstärke in viel geringerem Maass ab als die Kraft. War der Achillesspiegel mit Kreosot angeätzt, und der Muskel demgemäss sehr stark wirksam, so konnte ich die vom Achillesspiegel ausgehende Strömung in der Flüssigkeit nachweisen, indem ich die Thonspitzen dem Muskel nahe eintauchte[1]). War der Muskel stärker parelektronomisch, aber noch aufsteigend wirksam, so hatte nach dem Eintauchen die zwischen Triceps und Tarsus übrig bleibende Spur von Strom die absteigende Richtung. Hatte ich endlich den Kniespiegelstrom durch Anätzen des Sehnenstreifes an der Tibialfläche theilweise, oder durch Aufschlitzen des Muskels längs der sehnigen Scheidewand vollständiger entwickelt (S. oben S.562. 563), so dass der Muskel stark absteigend wirkte, so wurde durch Eintauchen diese Wirkung verkleinert, z. B. am geätzten Muskel von —90 auf —9, am aufgeschlitzten von —629 auf —16 Cgr. Dies ist der eine Fall, in welchem Nebenschliessung

1) Sie bröckeln in der Lösung schnell ab. Deshalb wurde gewöhnlich der Strom von Gewebetheilen abgeleitet, die aus der Lösung hervorragten, da sonst vortheilhafter gewesen wäre, Haupt- und Achillessehne in der Lösung mit den Thonspitzen zu berühren.

einen positiven Zuwachs statt eines negativen erzeugt (S. oben S. 578).

Das Bepinseln oder Eintauchen und das Abtrocknen des Muskels sind in mancher Beziehung minder umständlich als das Umkneten des Muskels mit Thon und sein Entfernen aus der Thonhülle. Doch geht das Abtrocknen nicht so geschwind von Statten wie das Entfernen aus der Thonhülle; oft bleibt der Muskel, wenn auch schwächer, negativ wirksam, vielleicht wegen Quellung des Perimysiums; die capillare Schicht lässt sich, wo man es wünschen sollte (S. unten S. 587. 588), nicht sicher auf bestimmte Bezirke einschränken; endlich bei öfterer Wiederholung des Versuches scheint der Achillesspiegel mehr von der Lösung als vom Thone zu leiden. Dies sind die Gründe, aus denen ich, auch nachdem ich das Einhüllen in Thon durch Bepinseln mit Lösung ersetzen gelernt hatte, in vielen Fällen noch ersteres Verfahren vorzog.

Gesättigte Steinsalzlösung lässt von der Wirkung des Muskels nichts Deutliches mehr nach Aussen gelangen.

Danach schien unfraglich, dass auch Quecksilber so wirken würde. Als ich aber, meiner Gewohnheit treu, auch scheinbar Selbstverständliches durch den Versuch zu prüfen, den mit Quecksilber gefüllten Trog einem Gastroknemius entgegenhob, an dessen Achillesspiegel die parelektronomische Schicht mit verdünnter Milchsäure zerstört war, fand ich zu meiner Ueberraschung den Spannungsunterschied der aus dem flüssigen Metall hervorragenden zuleitenden Gewebetheile fast unverändert. Zwar zeigte sich, als ich näher zusah, im ersten Augenblick eine heftige negative Ablenkung; unmittelbar nachher aber näherte sich der Spiegel schnell seinem früheren Stande und erreichte ihn wieder mehr oder minder vollständig. Die fast unendlich gut zu nennende Nebenschliessung durch das Quecksilber liess also die elektromotorische Gastroknemius-Resultante beinah ungeschwächt.

Da ich bei diesen Versuchen nur wie gewöhnlich den Achillesspiegel mit der Säure benetzt hatte, so war eine entfernte Möglichkeit, dass die saure untere, und die alkalische obere Hälfte des Muskels mit dem Metall eine Säure-Alkali-Kette

bilde, deren Strom den durch Nebenschliessung geschwächten Muskelstrom zur früheren Höhe ergänze. Schon der zeitliche Verlauf der Erscheinung sprach gegen diese Deutung; auch blieb der Erfolg derselbe, als ich, statt nur den Achillesspiegel, den ganzen Muskel mit Säure bestrich, und Benetzen nur des Achillesspiegels eines wärmestarren Muskels mit Säure gab keine Wirkung in obigem Sinne.

So sonderbar die Thatsache beim ersten Anblick ist, so leicht erklärt sie sich bei näherer Betrachtung. Nach meinen Versuchen mit der Siemens'schen Wippe verhält sich in verdünnter Schwefelsäure die Polarisation von Quecksilber zu der von Platin wie $\frac{1}{1 \cdot 3}$: 1.[1]) Trotz der Beweglichkeit seiner Oberfläche ist Quecksilber ein sehr polarisirbares Metall. Der Vorgang ist also wesentlich derselbe, als brächte man zu einem die Bussole enthaltenden Zweige des Schliessdrahtes einer Kette eine Nebenleitung an, in der ein Voltameter mit Platinelektroden sich befindet. Im ersten Augenblick erfolgt eine Schwächung des Stromes, wenn aber die Polarisation den Stromzweig in der Nebenleitung vernichtet hat, kann man nach dem Bosscha'schen Satze die Nebenleitung mit dem Voltameter entfernen und anbringen, ohne in der übrigen Leitung das dynamische Gleichgewicht zu stören[2]). In dem Fall der Nebenleitung befindet sich in unserem Versuche das Quecksilber mit der schnell an seiner Oberfläche sich entwickelnden elektromotorischen Gegenkraft. Sobald diese den Strom im Quecksilber aufhebt, ist es, als sei letzteres nicht mehr da. Im Maasse wie dieser Zustand erreicht wird, nimmt demnach der Strom im Bussolkreise seine frühere Grösse wieder an.

Die Richtigkeit dieser Erklärung folgt daraus, dass jede Erschütterung des Quecksilbers von einem nach Verhältniss heftigen negativen Ausschlage begleitet ist[3]).

1) Monatsberichte u. s. w. 1859. S. 483.

2) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1858. Bd. CIV. S. 460; — Vergl. Wiedemann, die Lehre vom Galvanismus. Braunschweig, 1861. S. 138. §. 72.

3) Ueber die Wirkung der Erschütterung polarisirter Elektroden vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 212. Anm. 1; — Bd. II. Abth. 2. 1860. S. 325.

Um aber unsere Erklärung vollends zu sichern, habe ich noch folgenden Versuch angestellt, der insofern leichtere Einsicht gewährt, als der Muskel dabei durch einen an sich nicht elektromotorischen, sondern von einem fremden Strome durchflossenen feuchten Leiter ersetzt ist. Ich befestigte zwei kleine Glastrichter neben einander in aufrechter Stellung so, dass der Abstand der unteren Mündungen ihrer beiläufig nur 20 mm. langen Rohre von Mitte zu Mitte 67 mm. betrug, und zog durch die Rohre einen baumwollenen, mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung getränkten Docht. Der Docht war zwischen den unteren Mündungen der Rohre straff ausgespannt, damit er auch in Quecksilber gerade bleibe. Die beiden Enden des Dochtes befanden sich in den Trichterkegeln, und waren mit zwei Lagen Thon überknetet, deren untere aus gewöhnlichem, die obere aus Thon bestand, der mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung angefeuchtet war. Ueber letzterer Schicht stand schwefelsaure Zinkoxydlösung, in welche verquickte Zinkplatten tauchten. Der Strom einer beständigen Kette wurde durch diese Vorrichtung und die Bussole gesandt und seine Stärke gemessen. Die Trichter mit dem zwischen ihnen ausgespannten Dochte schwebten über dem erwähnten Troge mit Quecksilber. Wurde dieser gehoben, bis der Docht ganz von Quecksilber umgeben war, so stieg zwar im ersten Augenblick die Ablenkung, sogleich aber sank sie wieder und erreichte fast genau ihre frühere Stärke. Erschütterung erzeugte schnelle positive Schwankungen. Ersetzte ich das Quecksilber im Troge durch dreiviertelprocentige Steinsalzlösung, so erhielt ich dauernd etwa eine so grosse Verstärkung des Stromes, wie Quecksilber sie im ersten Augenblick erzeugte. Sogar die kurzen Ströme des Schlitteninductoriums wurden durch Lösung mehr gestärkt als durch Quecksilber. Mit dem Docht in der Luft erfolgten 67·0, in Quecksilber 75·7, in Lösung 87·0 Scalentheile Ausschlag.

Dieser Versuch ist der reciproke zu einem seinerzeit viel besprochenen Versuche von Hrn. Poggendorff. In der Axe eines weiten Glasrohres verläuft ein Platindraht, der eine Kette schliesst. Wird das Rohr mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, so bleibt der Strom ungeändert, obschon eine leicht wahrnehm-

bare Verstärkung die Folge der Ausbreitung des Stromes in der Flüssigkeit sein müsste. Hr. Poggendorff selber hat dies so ausgelegt, als könne hier keine Zersetzung eintreten, mithin der Strom nicht auf den feuchten Leiter übergehen, weil dieser nur durch Elektrolyse leite[1]). Hr. Jacobi hat aber bei ähnlichen Anordnungen Elektrolyse nachgewiesen[2]), und Hr. Beetz hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass der Strom in der Flüssigkeit durch Polarisation vernichtet werde[3]). Unstreitig ist dies der Grund der Erscheinung, und mit verquicktem Zinkdraht in schwefelsaurer Zinkoxydlösung wäre das Ergebniss sicher ein anderes.

Eine metallische Nebenschliessung, sofern sie bis zur Vernichtung des ursprünglichen Stromes polarisirbar ist, verändert also den Strom in einem feuchten Leiter nicht, gleichviel ob dieser durchströmt sei, oder elektromotorische Kräfte in seinem Inneren beherberge. Um so sicherer hindert sie, was der Ausführung nicht bedarf, den Uebergang aus einem feuchten Leiter durch sie hindurch in einen anderen. Humboldt und Gay-Lussac bemerkten, dass man einen Zitterrochen zwischen zwei am Rande sich berührenden Schüsseln ungestraft trage[4]). Matteucci fand, dass Blattgold zwischen Muskel und Nerv die secundäre Zuckung aufhebe, und Hr. Becquerel d. V. gab die richtige Erklärung dieses Umstandes, durch den Matteucci sich verleiten liess, die elektrische Natur der secundären Zuckung zu läugnen, und sie auf Fernwirkung des Nervenprincipes im primär zuckenden Muskel zu deuten[5]). Ich selber endlich zeigte unmittelbar, dass eine unter Wasser befindliche Säule durch eine metallische Hülle keinen merklichen Stromtheil nach aussen sende[6]).

---

1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 54.
2) Ebenda, 1846. Bd. LXIX. S. 181.
3) Fortschritte der Physik im Jahre 1845 u. s. w. S. 448.
4) Gilbert's Annalen u. s. w. 1806. Bd. XXII. S. 8.
5) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abthl. 1. 1849. S. 105.
6) Monatsberichte u. s. w. 1864. S. 352.

§. VII. Wie Nebenschliessung die absteigende Kraft des Gastroknemius verstärke, wird erklärt.

Nach dieser Richtung also ist Alles deutlich; das hier zu Erklärende ist, wie Nebenschliessung, anstatt einfach die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius zu schwächen, dessen Kraft stets in absolut negativem Sinne ändere. Folgendermaassen lässt sich dies begreifen.

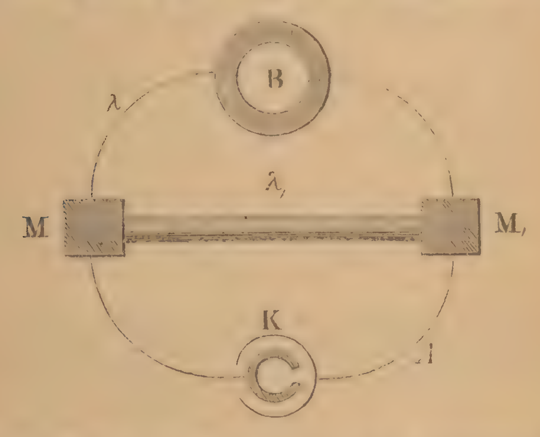
Schon früher wies ich nach, dass der in der Muskelmasse versteckte Kniespiegel, sofern er nicht bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist, durch den Muskel eine Strömung sende, die im Kniespiegel selber ab-, im Muskel aufsteige. Diese Strömung setzt sich im Muskel zusammen mit der darin absteigenden Strömung, welche ausgeht von dem in sich aufsteigend wirksamen Achillesspiegel, sofern er nicht bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist (Vergl. oben S. 567. 568). In den Bussolkreis sendet demgemäss der Kniespiegel einen scheinbar im Muskel absteigenden, der Achillesspiegel einen scheinbar darin aufsteigenden Stromzweig, und je nachdem der erste oder zweite dieser Zweige der stärkere ist, erscheint der Muskel negativ oder positiv wirksam.

Der Betrag, in welchem jeder der beiden Spiegel seine Componente in den Bussolkreis sendet, wird beeinflusst durch die Nebenschliessung, welche in Bezug auf jenen Kreis die Muskelmasse und andere dem Muskel passend anliegende leitende Massen dem Ausgleich der Spannungen darbieten.

Um in dieser Beziehung Kniespiegel und Achillesspiegel mit einander zu vergleichen, theilen wir den Muskel in drei Längenabschnitte. Der obere erstreckt sich bis an den oberen Rand des Achillesspiegels, der untere bis an das untere Ende des Sehnenstreifes in der Tibialfläche. Im mittleren Abschnitte befindet sich der obere Theil des Achilles- und der untere des Kniespiegels, im oberen Abschnitte nur der obere Theil des Knie-, im unteren Abschnitte nur der untere Theil des Achillesspiegels. Für die im mittleren Abschnitte gelegenen Theile beider Spiegel ist die durch die Muskelmasse gebildete Nebenschliessung etwa die gleiche. Dagegen ist sie für den im oberen Abschnitte gelegenen Theil des Knie-

spiegels eine bessere als für den im unteren Abschnitte gelegenen Theil des Achillesspiegels. Denn im oberen Abschnitte rundet sich der Muskel zu dem dicken Muskelkopfe ab, im unteren läuft er rasch sich verjüngend in die schlanke Achillessehne aus.

Nun ist für prismatische Leiter, in denen die Elektricität nur nach einer Richtung sich bewegt, leicht zu zeigen, dass je besser die für einen Stromzweig schon vorhandene Nebenschliessung ist, um so weniger wird er geschwächt durch weiteres Verbessern dieser Nebenschliessung um eine bestimmte Grösse. In folgender Figur seien K die Kette mit der elektro-



motorischen Kraft E im Kettenzweige vom Widerstande Λ, B die Bussole im Bussolzweige vom Widerstande λ; endlich $\lambda_{,}$ eine Nebenschliessung zum Bussolzweige, deren Widerstand $\lambda_{,} = \frac{l}{q.s}$, wo l die Länge, q der Querschnitt, s die specifische Leitungsgüte. Die Nebenschliessung ist mit ihren beiden ebenen Endquerschnitten zwischen zwei leitenden Massen $M, M_{,}$ von so grosser specifischer Leitungsgüte angebracht, dass s dagegen verschwindet; die Trennungsebenen sind folglich isoëlektrische Flächen. Die Stromstärke im Bussolkreise wird alsdann sein

$$I_{\lambda} = \frac{E \,.\, l}{(\Lambda + \lambda)\, l + \Lambda\lambda\, qs}.$$

Differenzirt man diesen Ausdruck nach q, so erhält man

$$dl_\lambda = - \frac{E \, . \, l \, . \, \Lambda \lambda s}{[(\Lambda + \lambda) \, l + \Lambda \lambda q s]^2} \, dq.$$

dl_λ nimmt ab mit wachsendem q, d. h. für eine gleiche Verbesserung der Nebenschliessung durch Vergrösserung ihres Querschnittes um dq fällt die Abnahme der Stromstärke um so kleiner aus, je grösser q oder je besser die schon vorhandene Nebenschliessung ist.

Aehnliches muss auch in körperlichen Leitern gelten. Wird also die Nebenschliessung, welche die Muskelmasse der von beiden Spiegeln ausgehenden Strömung bietet, durch Umhüllen des Muskels mit Thon, Bepinseln mit verdünnter Steinsalzlösung, Eintauchen in solche Lösung verbessert, so werden die Stromtheile, welche von den im mittleren Abschnitte gelegenen Theilen der Spiegel ausgehen, in ungefähr gleichem Verhältniss geschwächt. Dagegen der aufsteigende Stromtheil, welcher ausgeht von dem im unteren Abschnitte gelegenen Theile des Achillesspiegels, wird unter der angebrachten Nebenschliessung mehr leiden, als der absteigende Stromtheil, welcher ausgeht von dem im oberen Abschnitte gelegenen Theile des Kniespiegels.

Mit Hülfe des Helmholtz'schen Satzes lässt sich dies auch folgendermaassen einsehen. Denken wir uns im oberen und im unteren Abschnitte des Muskels ein elektromotorisches Flächenelement. Es wird durch den Bussolkreis eine um so grössere Elektricitätsmenge senden, je grösser die Elektricitätsmenge ist, die es selber von einem gleich grossen und gleich stark elektromotorischen Querschnitte des Bussolkreises erhält, im Allgemeinen also, je grösser die Stromdichte in dem senkrecht auf die Strömung genommenen Muskelquerschnitt ist, in welchem es liegt. Nun werde der Muskel in eine vergleichsweise unbegrenzte Masse eines Leiters von gleichem specifischem Widerstande getaucht. Dadurch wird im oberen und im unteren Abschnitte die Stromdichte sinken, um in beiden derselben niederen Grenze sich zu nähern. Da die Stromdichte im unteren Abschnitte grösser war, erleidet sie also hier den grösseren Verlust. Umgekehrt würde das Eintauchen bewirken, dass der vom Element in diesem Abschnitt ausgesendete Stromtheil im Bussolkreis eine

grössere Schwächung erführe, als der vom Element im oberen Abschnitt stammende, w. z. b. w.

Daraus erklären sich alle obigen Erfolge. Gleichviel, was Richtung und Grösse der ursprünglichen Wirkung war, durch Verbessern der Nebenschliessung muss die Wirkung einen Schritt im Sinne der Kniespiegelkraft, d. h. in negativer Richtung thun. Der stark aufsteigend wirksame Muskel also wird es weniger; am hinreichend schwach aufsteigend wirksamen führt der Schritt über den Nullpunkt fort in's Negative; der bereits absteigend wirksame Muskel wird stärker wirksam in gleicher Richtung. Zugleich aber wird die absolute Grösse beider entgegengesetzten Wirkungen vermindert, so dass bei sehr guter Nebenschliessung der Muskel fast ganz unwirksam wird. Dadurch kann geschehen, dass die Wirkung des schon absteigend wirksamen Muskels verkleinert statt vergrössert erscheint. Der Unterschied zwischen auf- und absteigender Wirkung wächst zwar zu Gunsten letzterer, aber beide algebraïsch zu summirenden Grössen werden zugleich mit einem so kleinen Factor multiplicirt, dass die negative Resultante absolut genommen sinkt (S. unten, S. 590).

Versuche mit nur theilweiser Umhüllung des Muskels bestätigen diese Theorie. Legt man einen Thonring von etwa 5 mm. Dicke um den Muskelkopf oberhalb des Achillesspiegels, so erhält man einen schwachen aufsteigenden Zuwachs, weil man den absteigenden Kniespiegelstrom schwächt. So muss beiläufig auch das am Längsschnitt der Rückenfläche angelegte Milchsäurescheibchen wirken (S. oben S. 570). Ein absteigender Zuwachs dagegen erfolgt, wenn man den Ring unterhalb des unteren Endes des Sehnenstreifes der Tibialfläche anbringt. Auch fährt ein solcher Zuwachs fort zu erscheinen, wenn man mit dem Ring am Muskel emporsteigt, bis ein Punkt kommt, wo die Wirkung Null ist und jenseit dessen sie positiv wird. Dies erklärt sich nach dem Helmholtz'schen Satz aus dem Einfluss, den der Thonring auf eine den Muskel zwischen Haupt- und Achillessehne durchfliessende Strömung üben würde. Die ohne den Ring im Achillesspiegel selber und ihm nahe verlaufenden Stromcurven werden in den Ring hinein

sich biegen, die der Axe des Muskels näheren, welche die Flächenelemente des Kniespiegels treffen, vergleichsweise ungestört bleiben. Hieraus ergiebt sich ein neuer Grund gegen Hrn. Meissner's Art, den Strom vom Gastroknemius mittels eines um den Muskelbauch geknüpften, mit Eiweiss getränkten Fadens abzuleiten[1]). Umstände lassen sich denken, unter denen ein solcher Faden durch Nebenschliessung Fehler veranlassen könnte.

Umhüllt man abwechselnd die obere und untere Muskelhälfte mit Thon, so erhält man, wie nach Vorigem von selbst sich versteht, im letzteren Falle viel stärkere absteigende Wirkung als im ersteren. Sind etwa die unteren zwei Drittel des Muskels in Thon gehüllt, so hat Umhüllung des oberen Drittels nicht sicher Vermehrung des absteigenden Zuwachses zur Folge.

§. VIII. Folgerungen aus Obigem. Der Gastroknemius eignet sich nicht dazu, um die Umkehr der elektromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie daran festzustellen.

Aus diesen Versuchen folgt zunächst, dass der Kniespiegel so parelektronomisch weder ist, noch zur Erklärung der elektromotorischen Erscheinungen am Gastroknemius zu sein braucht, wie ich früher annahm. Um die Schwäche der nach aussen gelangenden Kniespiegelwirkung zu erklären, tritt an Stelle der vermutheten hohen Parelektronomie, für die sonst kein Grund vorlag, die bisher nicht berücksichtigte Thatsache, dass für den Kniespiegelstrom die Bedingungen der Ableitung ungünstigere sind, als für den Achillesspiegelstrom. Dem Aufschlitzen des Gastroknemius längs der Scheidewand, dem Ueberdehnen, dem Anätzen des Sehnenstreifes der Tibialfläche, diesen drei Versuchsweisen, mittels deren bisher die absteigende Kniespiegelcomponente zum Vorschein gebracht wurde, liess sich vorwerfen, dass sie die Kraft, die sie nachwiesen, erst schufen. Das Verfahren, den Kniespiegelstrom vergleichsweise zu verstärken, indem man den Achillesspiegelstrom durch Nebenschliessung vergleichsweise mehr schwächt, ist von diesem Ein-

1) Vergl. Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 578 ff.

wurfe frei. Sein Erfolg lehrt uns, dass der Kniespiegel für gewöhnlich, so weit sich urtheilen lässt, in einem gewissen mittleren Grade der Parelektronomie verharrt, wie eben andere sehnige Muskelenden und der Achillesspiegel auch. Die scheinbare elektromotorische Ueberlegenheit des letzteren beruht wesentlich auf der ungünstigeren Lage des Kniespiegels. Verjüngte sich der Gastroknemius nach oben wie nach unten, endete er an der Hauptsehne dünn wie an der Achillessehne, so fände zwischen Haupt- und Achillessehne kein Strom statt, oder wenigstens der Strom flösse so oft nach unten wie nach oben. Ausserdem kommt natürlich in Betracht, dass der Achillesspiegel allerlei schädlichen Einflüssen blossliegt, gegen welche der grösste Theil des Kniespiegels vollkommen geschützt ist.

Wie man sich erinnert, wurde auf Grund von Beobachtungen am Gastroknemius die Lehre von der Parelektronomie des natürlichen Querschnittes zuerst aufgestellt. Am Gastroknemius war es, wo ich, abgesehen von den ersten rohen Wahrnehmungen an ganzen Gliedmaassen, zuerst erfuhr, dass ein unversehrter Muskel unter Umständen stromlos erscheinen oder verkehrt wirken kann, und dass es genügt, den natürlichen Querschnitt irgendwie zu zerstören, um den gewöhnlichen Strom hervorzurufen.

Ohne dass ich damals es ahnen konnte, betrafen diese Wahrnehmungen, die von so fundamentaler Bedeutung werden sollten, statt des gewöhnlichen Stromes vom Längs- zum Querschnitt, einen natürlichen Neigungsstrom. Es entstand aber daraus kein Fehler, weil die Lehre von der Parelektronomie auch auf die schrägen natürlichen Querschnitte und ihre Neigungsströme passte[1]). Dies war um so glücklicher, als an den hier brauchbaren Muskeln kein senkrechter natürlicher Querschnitt vorkommt, vielmehr alle Ströme sehniger Enden zum Theil Neigungsströme sind[2]).

Jetzt aber findet sich merkwürdigerweise auch noch, dass Versuchen am Gastroknemius der Beweis für Umkehr der elek-

1) Dieses Archiv, 1863. S. 607.

2) Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 590.

tromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie nicht entnommen werden kann. Stromlosigkeit, absteigende Wirkung des Gastroknemius, sind weit davon entfernt, unmittelbar den Schluss auf gleiche Zustände des Achillesspiegels zu gestatten.

Der Strom zwischen Haupt- und Achillessehne lässt sich als algebraïsche Summe von vier Componenten auffassen: 1. des Neigungsstromes der Achillesspiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre: seine aufsteigende Kraft heisse $+ n_a M_a$, wo $n_a < 1$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft durch Nebenschliessung erfährt; 2. des Neigungsstromes der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels: seine absteigende Kraft sei $- n_a P_a$; 3. des Neigungsstromes des Kniespiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre: seine absteigende Kraft heisse $- n_k M_k$, wo $n_k < n_a$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft durch Nebenschliessung erfährt; endlich 4. des Neigungsstromes der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels: seine aufsteigende Kraft sei $+ n_k P_k$. Wegen der geringeren Neigung der Bündel gegen den oberen Theil des Kniespiegels (S. oben S. 561) hat man beiläufig M_k, P_k unter sonst gleichen Umständen $< M_a$, P_a. Die Gesammtwirkung des Gastroknemius ist

$$S = n_a (M_a - P_a) - n_k (M_k - P_k).$$

Setzt man $P_a < M_a$, $P_k < M_k$, so dass S einen geringen positiven Werth erhält, und lässt n_a über ein gewisses Maass schneller als n_k abnehmen, wodurch man in der Formel die Wirkung einer angebrachten Nebenschliessung vorstellt, so wird S durch Null hindurch negativ. Setzt man $M_k - P_k$ so viel grösser als $M_a - P_a$, dass trotz $n_k < n_a$ S negativ ist, und lässt wieder n_a schneller als n_k abnehmen, so ist die Folge eine Vergrösserung des negativen Werthes von S; aber nur bis zu einer gewissen Grenze, jenseit welcher der negative Unterschied wieder abnimmt, weil bei immer besser werdender Nebenschliessung n_k und n_a derselben niederen Grenze sich nähern. So drückt die Formel aus, dass sehr gute Nebenschliessung die negative Wirksamkeit eines Gastroknemius nicht mehr erhöht, sondern vermindert (S. oben S. 587).

Nun aber handelt es sich darum, welche Schlüsse aus dem bald positiven, bald negativen, bald der Null gleichen Werthe von S auf die Grösse von P_a gezogen werden können. Das Dasein von P_a an sich ist hinlänglich bewiesen durch den Erfolg des Aetzens, Brennens u. s. w. Die Grösse des Unterschiedes zwischen der Wirkung eines stark parelektronomischen Gastroknemius vor und nach dem Aetzen, Brennen u. s. w. zeigt überdies, dass in solchen Fällen P_a nur wenig kleiner als M_a sein könne. Allein die Frage ist, ob aus den Versuchen am Gastroknemius zu folgern sei, dass P_a so gross und grösser werden könne als M_a. So lange ich Grund zu haben glaubte, $P_k = M_k$ zu setzen, also den Subtrahenden $n_k(M_k - P_k)$ im obigen Ausdruck für S zu vernachlässigen, wie es noch in meinen letzten hierauf bezüglichen Mittheilungen der Fall war, so lange war ich auch berechtigt, aus $S =$ oder < 0 ohne Weiteres auf $P_a =$, beziehlich $> M_a$ zu schliessen. Dieser Schluss ist jetzt nicht mehr zulässig. Aus $S = 0$ kann nicht geschlossen werden auf $P_a = M_a$, $P_k = M_k$, da auch

$$\frac{M_a - P_a}{M_k - P_k} = \frac{n_k}{n_a}$$

$S = 0$ macht; und aus $S < 0$ nicht auf $P_a > M_a$, da auch

$$\frac{M_a - P_a}{M_k - P_k} < \frac{n_k}{n_a}$$

S negativ macht. Die Erscheinungen am Gastroknemius allein berechtigen bei unserer jetzigen Einsicht also nur zu einem Theile der Schlüsse, auf denen die Lehre von der Parelektronomie ruht.

§. IX. Die am Gastroknemius zweifelhaft gewordene Umkehr der elektromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie ist an regelmässigen Muskeln nachweisbar.

Dennoch bleibt diese Lehre in vollem Umfange bestehen. Regelmässige Muskeln zeigen unzweideutig die Erscheinungen, aus denen ich zuerst am Gastroknemius die Umkehr der elektromotorischen Kraft durch Parelektronomie erschloss, obschon auch an ihnen eine früher nicht beachtete Verwickelung eintritt, die aber leicht zu lösen ist.

Positivität des natürlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt findet sich häufig am unteren Ende des Cutaneus, Sartorius und Semimembranosus, und ziemlich oft am oberen Ende der beiden ersteren Muskeln. Dagegen das obere Ende des Semimembranosus und beide Enden des Gracilis mir nicht einmal völlige Stromlosigkeit dargeboten haben. Wahrscheinlich liegt der Grund davon in der Schwierigkeit, diese drei Enden unverletzt herzustellen. Am oberen Ende des Gracilis und Semimembranosus beruht diese Schwierigkeit auf der Kürze der bandartig breiten Sehne, welche die Muskeln an die Beckenfuge heftet. Das untere Ende des Gracilis ist mit dem Cutaneus so verwachsen, dass es nicht oft gelingen mag, sie unversehrt zu trennen. Sollten regelmässig ein paar Gracilisbündel vom Perimysium des Cutaneus entspringen, so wäre erklärt, weshalb die Verletzung meist nur den Gracilis treffe. Ob diese Anordnung wirklich stattfinde, ist schwer zu entscheiden, und ich habe mich davon noch nicht überzeugen können.

Wie dem auch sei, man könnte nun glauben, die blosse Beobachtung der Positivität eines sehnigen Endes gegen Längsschnitt beweise schon die Umkehr der elektromotorischen Kraft durch Parelektronomie; aber mit nichten.

Es kann nämlich ein sehniges Ende A auch dann positiv gegen Längsschnitt erscheinen, wenn es selber sich in Wahrheit neutral oder sogar schwach negativ dagegen verhält. Dies ist dann der Fall, wenn das andere Ende B weniger parelektronomisch ist, um so leichter, wenn B dies nur sehr wenig oder wenn in B künstlicher Querschnitt angelegt ist. Alsdann verhält sich jeder B nähere Längsschnittspunkt negativ gegen jeden davon entfernteren, und folglich jeder Längsschnittspunkt negativ gegen A.

Ich sah dies mehrere Male am unteren Ende des Sartorius. Die eine Thonspitze berührte dies Ende, die andere den Längsschnitt etwa in der Mitte der Muskellänge. Der Strom war verkehrt. Ging ich mit der Thonspitze am Längsschnitt dem oberen Ende näher, so verstärkte sich natürlich der Spannungsunterschied. Dies hatte nichts zu bedeuten, da es auch bei wirklich positivem unteren Ende hätte geschehen müssen.

Rückte aber die Spitze am Längsschnitt bis in geringe Entfernung vom scheinbar positiven unteren Ende, so verrieth sich die Täuschung dadurch, dass der Strom sich umkehrte und nun das untere Ende schwach negativ erschien. So wurde deutlich, dass es hier bloss um Verschiebung des Aequators bis hart an den minder wirksamen Querschnitt sich handelte.

Den Strom in einem dem Muskel irgendwie angelegten Bogen kann man auffassen als Resultante zweier Componenten, deren jede einer Strömung vom Längsschnitt nach dem einen der beiden Querschnitte entlehnt ist. Die von einem bestimmten Querschnitt ausgehende Componente wird um so stärker sein, je negativer der Querschnitt, um so schwächer, je stärker dessen parelektronomische Schicht; sie wird ihren Sinn ändern, wenn diese Schicht so entwickelt ist, dass der Querschnitt wirklich positiv gegen Längsschnitt sich verhält. Von diesem Gesichtspunkte lässt der Strom in dem, einem regelmässigen Muskel angelegten Bogen sich wohl vergleichen mit dem Strom in dem, einem Gastroknemius angelegten Bogen. Unter geeigneten Umständen müsste in einem dem Aequator und dem Ende *A*, oder auch zwei Längsschnittspunkten des regelmässigen Muskels angelegten Bogen beim Anätzen des Endes *B* der Strom abnehmen, wie der vom Achillesspiegel ausgehende Strom in einem dem Gastroknemius angelegten Bogen abnimmt, wenn der Kniespiegelstrom entwickelt wird. Umgekehrt, Zunahme müsste dort wie hier erfolgen, wenn man ein Mittel besässe, den entgegenwirkenden Stromzweig zu schwächen, wie am Gastroknemius Verbesserung der Nebenschliessung es gewährt.

Ich habe solche Versuche am Gracilis und Semimembranosus angestellt. Ich spannte den Muskel in der kleinen Streckvorrichtung aus, legte dem Ende *A* die eine Thonspitze, die andere einem Längsschnittspunkte an. Nach compensirtem Strom ätzte ich Ende *B* mit Kreosot oder verdünnter Milchsäure. Wirkung im Sinne des Stromes dieses Querschnittes zeigte sich aber nur, wenn die Längsschnittsspitze nahe dem Querschnitt sich befand. Der Erfolg war undeutlich, wenn die Spitze am Aequator lag. Es scheint danach fast, als ob am Sartorius, wo die Längsschnittsspitze bis nahe an das untere

Ende negativ gegen dieses sich verhielt, die elektromotorische Leistungsfähigkeit nicht, wie hier stets vorausgesetzt wird, überall dieselbe, sondern in den oberen Abschnitten des Muskels kleiner gewesen sei.

Um den vom Ende *B* ausgehenden Stromzweig zu schwächen, giebt es kein brauchbares Mittel. Auf Grund von Thatsachen, die ich anderswo mittheilen werde, könnte man dazu an Tetanisiren des Muskels denken, doch ist hier damit nichts anzufangen. Es entsteht aber die Frage, was in dieser Beziehung am regelmässigen Muskel mit Nebenschliessung auszurichten sei; ob der von einem senkrechten Querschnitt *B* ausgehende Strom zwischen Ende *A* und einem Längsschnittspunkt oder zwischen zwei Längsschnittspunkten sinke, wenn Querschnitt *B* in verdünnte Steinsalzlösung getaucht werde. Theoretisch lässt sich darüber Nichts sagen, ohne über den Bau des Muskels als Elektromotor auf Erörterungen einzugehen, die hier zu weit führen würden. Der Versuch giebt stets geringe Abnahme des Stromes vom eingetauchten Querschnitt aus, gleichviel ob die Lösung den Längsschnitt erreiche oder nur den Querschnitt berühre, ob z. B. letzterem nur ein mit Lösung getränkter Bausch genähert werde.

Wenn der Querschnitt nicht eben blieb, sondern, wie es oft geschieht, in der Mitte sich hervorwölbte, wurde der Erfolg unsicher. Dies brachte mich darauf, die Wirkung des Eintauchens auch auf schrägen künstlichen Querschnitt zu versuchen. Die Thonspitzen wurden dem Muskel oberhalb der durch den schrägen Querschnitt gebildeten stumpfen Ecke verschieden hoch angelegt. War der Muskel so aufgestellt, dass der schräge Querschnitt wagerecht nach unten sah, so wurde beim Eintauchen auch stets die dem Querschnitte nähere Thonspitze stärker positiv: ein Ergebniss, welches ich in etwas anderer Form schon vor Jahren erhielt[1]). Dagegen wurde diese Spitze viel stärker negativ, wenn bei senkrechtem Muskel

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. 1860. S. 78. Der Muskel lag auf Bäuschen, und sein schräger künstlicher Querschnitt wurde, meinem damaligen Zweck entsprechend, mit Höllensteinlösung benetzt.

der durch den schrägen Schnitt entstandene dreieckige Zipfel eingetaucht wurde; um so stärker, je tiefer das Eintauchen geschah.

Letzterer Erfolg erklärt die Unsicherheit der Wirkung bei hervorgewölbtem Querschnitt. Er selber aber ist zunächst völlig dunkel, und das Ergebniss bei Berührung senkrechten Querschnittes mit einem Bausche widerspricht älteren Versuchen an Nerven, wo zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten Wirkung im Sinne desjenigen Querschnittes erschien, dem ich einen mit Eiweiss getränkten Faden so anfügte, dass der Faden eine unwirksame Verlängerung des Nerven bildete[1]. Ich habe diese Angelegenheit, die hier von keiner Wichtigkeit ist, und deren Erledigung noch weitläufige Untersuchungen erfordert, für jetzt auf sich beruhen lassen.

Gleichviel wie sie einst sich aufkläre, Positivität des einen sehnigen Endes eines regelmässigen Muskels genügt also nicht, um daraus Umkehr der elektromotorischen Kraft dieses Endes durch Parelektronomie zu erschliessen. Doch lassen sich Bedingungen angeben, unter denen dieser Schluss gerechtfertigt wäre. Er wäre es, wenn es gelänge, Fälle zu beobachten, in denen der verkehrt wirksame natürliche Querschnitt gegen den Aequator ebenso positiv oder positiver wäre, als der Aequator gegen den gesetzmässig wirksamen Querschnitt. Er wäre es vollends, wenn der Fall vorkäme, dass beide natürliche Querschnitte eines Muskels positiv gegen Längsschnitt sich verhielten.

Beides ist nun in der That, freilich bisher nur am Sartorius, und auch an diesem nur selten, beobachtet worden.

Dazu gesellt sich noch eine andere Wahrnehmung, an welche hier erinnert werden mag. Es kommt bekanntlich am Cutaneus vor, dass nicht allein oberflächliches Anätzen ein sehniges Ende nicht negativ macht, sondern dass auch ein mit dem Messer dem Ende nahe hergestellter Querschnitt noch positiv gegen Längsschnitt sich verhält. Erst in etwas grösse-

---

1) Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 524. 525. Taf. IV. Fig. 134.

rer Entfernung vom Ende trifft man negativen Querschnitt. Bei der Länge und Dünne des Cutaneus ist an sich nicht glaublich, dass der scheinbar positive künstliche Querschnitt nur unwirksam war, und der verkehrte Strom der weit entlegenen anderen elektromotorischen Endfläche entsprang. Dies widerlegt sich vollends, und die wirkliche Positivität des sehnigen Endes wird erwiesen dadurch, dass im abgeschnittenen sehnigen Ende ein Strom vom künstlichen Querschnitt zum natürlichen im Muskel sich zeigt. Die einzige ungezwungene Auslegung solchen Verhaltens ist, dass in der hier anzunehmenden parelektronomischen Strecke säulenartige Anordnung elektromotorischer Kräfte herrscht, in deren Folge positive Elektricität nach dem sehnigen Ende hin fliesst. Die Andeutung eines ähnlichen Verhaltens kommt auch am Sartorius, der allein ausser dem Cutaneus noch gut darauf zu prüfen ist, insofern vor, als dem sehnigen Ende nahe angelegter Querschnitt gegen Querschnitt der Aequatorialgegend positiv erscheint.[1])

Auch diese Zustände sind mir nur selten begegnet. Doch ist es nicht Seltenheit einer Thatsache an sich, die darauf zu bauen verhindert. Eine vereinzelte Beobachtung wird werthlos dadurch, dass sie unvermittelt ausserhalb bekannter Gesetze steht. Wo dagegen, wie hier, das seltene Ereigniss den theoretisch vorhergesehenen Schluss einer Reihe stufenweise ihm sich nähernder Erscheinungen bildet, und die aus bekannten Gründen wachsende Seltenheit dieser Erscheinungen in der jenes Ereignisses gipfelt: da gehört die Seltenheit selber zu der sich enthüllenden Gesetzmässigkeit, und es lässt darauf hin kein Einwand gegen eine, auch das seltene Ereigniss als wesentliches Endglied umfassende Anschauung sich erheben.

Kommt vollständige Stromumkehr durch Parelektronomie an regelmässigen Muskeln von Natur nur selten vor, so gelingt es um so leichter, an stark parelektronomischen Muskeln sie künstlich dadurch zu erzeugen, dass man die Muskeln tetanisirt. Im Tetanus werden die natürlichen Querschnitte positiv, und bleiben es längere oder kürzere Zeit in beträchtlichem

1) Dieses Archiv, 1863. S. 685 ff.; — 1867. S. 264. 265. Anm.

Maasse, wie ich anderswo ausführlicher darlegen will. Dort wird die Entstehung der parelektronomischen Schicht erklärt werden.

§. X. Schlussbemerkungen.

Obschon aus absteigender Wirksamkeit des Gastroknemius, wie oben sich zeigte, Umkehr der elektromotorischen Kraft des Achillesspiegels durch Parelektronomie nicht unzweideutig folgt, ist also nach Erfahrungen an regelmässigen Muskeln diese Umkehr als höchste Stufe der Parelektronomie doch nicht zu bezweifeln.

Nun entsteht die Frage, ob nicht am Gastroknemius dieser Zustand auch vorkomme, d. h. bei hoher Parelektronomie der Achillesspiegelstrom im Spiegel wirklich ab- statt aufsteige.

Nothwendig folgt dies aus den Versuchen an regelmässigen Muskeln nicht. Am Gastroknemius gab sich mir noch nichts kund, was auf eine parelektronomische Strecke, statt einer Schicht, schliessen liesse. Vielleicht gehört grössere Länge der Bündel dazu, als sie im Gastroknemius vorkommt, damit statt einer parelektronomischen Schicht eine solche Strecke sich ausbilde; und obschon der Theorie nach die dünnste Schicht genügt, um den Strom umzukehren, könnte in Wirklichkeit die Umkehr doch vielleicht erst durch eine Strecke geschehen, in der verkehrte elektromotorische Kräfte säulenartig angeordnet sind.

Wie wir sahen, würde in der äusseren, unmittelbaren Erscheinung der Zustand umgekehrter Wirksamkeit beider Spiegel von dem oben S. 590 besprochenen sich nicht unterscheiden, in welchem der absteigende Kniespiegelstrom dem aufsteigenden Achillesspiegelstrom gleichkommt oder obsiegt. Aber vielleicht lassen sich Merkmale ersinnen, durch welche beide Zustände von einander zu unterscheiden wären.

Zwei solche Merkmale lassen sich angeben. Mittels der Thonspitzen gelingt es bekanntlich, am Achillesspiegel schwache Ströme von dessen Umfang nach der Mitte nachzuweisen. In der Längsrichtung setzen sich diese Ströme zusammen mit der Resultante aus den Neigungsströmen des Achilles- und des

Kniespiegels, woraus eine Verschiebung des negativen Punktes des Achillesspiegels je nach dem Zeichen der Resultante nach oben oder nach unten entspringt.[1]) In der queren Richtung dagegen werden die schwachen Ströme am Achillesspiegel durch die Zustände des Kniespiegels nicht merklich beeinflusst Am überdehnten, stark absteigend wirksamen Gastroknemius behalten sie ihre Richtung.[2]) Fände man sie also verkehrt an stark parelektronomischen, absteigend wirksamen Gastroknemien, so wäre dies ein Beweis dafür, dass die elektromotorische Kraft des Achillesspiegels wirklich ihr Zeichen gewechselt habe.

Das zweite Merkmal ist folgendes. Setzt man in dem oben S. 590 für die Gesammtwirkung des Gastroknemius gegebenen Ausdruck

$$S = n_a \, (M_a - P_a) - n_k \, (M_k - P_k)$$
$$P_a > M_a, \quad P_k > M_k,$$

so ist S negativ. Lässt man nun n_a schneller als n_k abnehmen, so wird S nicht mehr im negativen, sondern im positiven Sinne sich ändern. Anbringen nebenleitender Massen müsste also dann statt Zunahme Schwächung der absteigenden Kraft erzeugen. Zu dem oben S. 579 besprochenen Fall einer sehr guten Nebenschliessung würde diese Combination als zweite hinzutreten, in der ein absteigender Strom durch Nebenschliessung geschwächt, statt verstärkt, erschiene (S. oben S. 578). Damit ein solcher Erfolg hier entscheide, müsste er also mittels einer Nebenschliessung gewonnen sein, die an einem gewöhnlichen Muskel negativen Zuwachs erzeugt hätte, mittels der Thonhülle, oder einer capillaren Schicht verdünnter Steinsalzlösung.

Bei meinen Bemühungen, mit Hülfe dieser Merkmale obige Frage zu erledigen, stiess ich zunächst wieder auf die Schwierigkeit, die meinen Fortschritt bisher noch jedesmal hemmte, wo ich über die höheren Stufen der Parelektronomie etwas zu erfahren wünschte[3]), den Mangel nämlich an einem Verfahren, diese Stufen sicher herbeizuführen. Seit den Versuchen, die

---

1) Dieses Archiv, 1863, S. 564. 565.

2) Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 592.

3) Untersuchungen u. s. w. Bd. II., Abth. II., S. 133.

a. a. O. in meinen „Untersuchungen“ beschrieben sind, habe ich höhere Stufen der Parelektronomie so oft angetroffen, ohne die Frösche niedrigeren Temperaturen ausgesetzt zu haben, als der schmelzenden Eises, dass ich an meiner damaligen Meinung, nach welcher sehr tiefe Temperaturen Stromumkehr bewirken, fast irre ward. Bei neueren Versuchen über diesen Punkt habe ich wenigstens erkannt, warum zuweilen Frösche sehr tiefen Temperaturen ausgesetzt werden können, ohne dass ihre Gastroknemien parelektronomisch erscheinen. Wenn die Muskeln entweder oberflächlich gefroren waren, oder wenn die Lymphe in den Lymphräumen es war, findet man die Gastroknemien nicht allein nicht absteigend, sondern sogar stark aufsteigend wirksam. Sichtlich ist dann die parelektronomische Schicht entweder durch Gefrieren, oder durch das beim Aufthauen der Eiskrystalle in den Lymphsäcken sich bildende Wasser zerstört. Letztere Erklärung ist dieselbe, welche Hr. Hoppe-Seyler von der Zerstörung des Stroma's der Blutscheiben durch wiederholtes Gefrieren und Aufthauen des Blutes gab.[1]) In's Klare wird man über diese Dinge erst kommen, wenn man einmal Gelegenheit hat, mit einer Windhausen'schen Eismaschine beliebige Temperaturen unter Null beliebig lange herzustellen.

Bei alledem ist es mir einigemal gelungen, am Achillesspiegel stark parelektronomischer Gastroknemien verkehrte quere Ströme zu beobachten, und in einem einzelnen Fall Abnahme der absteigenden Wirkung bei Anbringen einer Thonhülle, wie sie sonst nur Zunahme erzeugt. Der Gastroknemius zeigte ursprünglich — 98 Cgr. Diese Wirkung stieg, wie es mit der absteigenden Wirkung beiläufig oft der Fall ist, ohne erkennbare Ursache auf — 130 Cgr. Anbringen einer Thonhülle verminderte sie auf — 52 Cgr. Nach Entfernen der Thonhülle: — 191; — 228 Cgr. In Thon: — 72 Cgr. Abermals ohne Thon: — 268 Cgr. Dies sind, wohl bemerkt, viel stärkere negative Wirkungen, als sie gewöhnlich am Gastro-

1) Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse u. s. w. Berlin 1865. S. 304.

knemius vorkommen. Ich glaube übrigens nicht, dass das Wachsen der negativen Wirkung am freiliegenden Muskel von – 130 Cgr. auf mehr als das Doppelte von Verstärkung der parelektronomischen Schicht des Achillesspiegels herrührte, sondern eher, dass die Parelektronomie des Kniespiegels sank. Die Prüfung der queren Ströme am Achillesspiegel lieferte in diesem Falle leider ein verworrenes Ergebniss.

Es ist nun aber gewiss beachtenswerth, dass bereits Hr. Herm. Munk zu einer Zeit, wo er von Sinn und Bedeutung dieser Thatsache nichts wissen konnte, die absteigende Wirkung stark parelektronomischer Gastroknemien durch Entfernen einer Nebenschliessung wachsen sah.

Hr. Hermann hatte bekanntlich beim Entblössen des Gastroknemius am sonst unversehrten Frosche zuweilen einen aufsteigenden Ausschlag zwischen einer Zehenspitze und einem passend gewählten höheren Punkte beobachtet und so gedeutet, als übe die Entblössung sogleich auf den Achillesspiegel einen verderblichen Einfluss, durch den der Muskel erst elektromotorisch wirksam werde. Hr. Munk zeigte, dass Hr. Hermann einen Umstand übersehen habe. Der positive Ausschlag rührt daher, dass die im Lymphsack des Unterschenkels befindliche Lymphe Nebenschliessung für den Gastroknemiusstrom bildet, daher beim Ausfliessen der Lymphe der aufsteigende Strom wächst. Wenn aber der Gastroknemius durch starke Parelektronomie absteigend wirkt, hat das Ausfliessen der Lymphe zuweilen Hebung des absteigenden Stromes oder absolut negativen Zuwachs zur Folge.[1])

Eine capillare Schicht dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung vermag, wie oben S. 578 gezeigt wurde, die elektromotorische Resultante des Gastroknemius in negativem Sinne bedeutend zu ändern, unter Umständen sie umzukehren. Um Hrn. Munk's Erklärung der Wirkung ausfliessender Lymphe vollends zu sichern, schien es jetzt zweckmässig, die Leitungsgüte der Lymphe mit der der Lösung zu vergleichen. Es standen mir dazu nur Winterfrösche zu Gebote. Einer darunter war

---

1) Dieses Archiv, 1868, S. 555. 556.

von selbst hydropisch genug, um aus seinen Lymphsäcken die nöthige Menge Lymphe schöpfen zu können. Zwei andere machte ich nach Hrn. Bidder's Rathschlag künstlich hydropisch, indem ich sie mit so kleinen Gaben Curara's vergiftete, dass sie mit gelähmten Lymphherzen noch über eine Woche lebten.[1]) Ich sog die Lymphe mit der Pravaz'schen Spritze auf. Die Spritze gewährte zugleich ein bequemes Mittel, ein am einen Ende mit Thon geschlossenes 40 mm. langes, 1·6 mm. im Lichten weites Glasrohr mit Lymphe zu füllen. Nachdem das Rohr auch am anderen Ende mit Thon geschlossen worden, brachte ich es zwischen die Thonschilder der Zuleitungsgefässe und bestimmte, wie bei den oben S. 572 ff. beschriebenen Widerstandsmessungen, den Ausschlag des Bussolspiegels, welchen der Oeffnungsstrom eines Schlitteninductoriums durch den Kreis hindurch erzeugte. Darauf wurde das Lymphrohr durch ein genau gleiches, ebenso mit Thon geschlossenes Rohr ersetzt, welches aber Steinsalzlösung enthielt, und wiederum der Ausschlag bestimmt. Schliesslich wurde der Ausschlag bei Schliessung des Kreises ohne Rohre bestimmt, indem zwischen die Thonschilder zwei Thonkügelchen aneinander gepresst wurden, die den Thonpfröpfen der Rohre möglichst gleich kamen. Natürlich war dies kein sehr vollkommenes Verfahren; die nahe Uebereinstimmung der Ausschläge in mehreren Versuchen, die mit derselben Lymphe, sonst aber mit Erneuerung allen Materiales angestellt wurden, lehrte jedoch, dass es für den Zweck genügte. Den Widerstand der Lymphe des einen der beiden curarisirten Frösche fand ich = 1·03, wenn der Widerstand der Lösung = 1·00 gesetzt wird, ein Unterschied, der zu vernachlässigen ist.[2]) Der Widerstand der Lymphe des hydropischen Frosches erwies sich als etwas bedeutender, nämlich = 1·16. Endlich der Widerstand der Lymphe des zweiten curarisirten Frosches war noch grösser, = 1·27. Immerhin war selbst dieser von gleicher Ordnung mit dem der Lösung, über 1·6 mal kleiner als der des

1) Dieses Archiv, 1868. S. 603. 604.

2) Das Mittel aus zehn Ausschlägen mit dem Lymphrohre war 90·8, das mit dem Lösungsrohre 92·4 sc., also nur um etwa $\frac{1}{60}$ grösser.

Muskels, und 3·3 mal kleiner als der des Thones. (Vergl. oben S. 574. 576). Uebrigens versäumte ich nicht, durch den Versuch mich zu überzeugen, dass diese Lymphe, statt der Lösung mit dem Pinsel auf parelektronomische Gastroknemien gebracht, deren elektromotorische Resultante gleich der Lösung veränderte.

Hr. Munk hat schon damals die Schwierigkeiten entwickelt, welche für Hrn. Hermann's Theorie des Muskelstromes aus der ihm von mir mitgetheilten Thatsache erwachsen, dass durch Anbringen einer Nebenschliessung der Kniespiegelstrom am Gastroknemius sichtbar und die aufsteigende in eine absteigende Resultante verwandelt wird.

Erstens nämlich lehrt diese Thatsache, dass um auf Präexistenz des Muskelstromes gerichtete Prüfungen vorzunehmen, man keine unglücklichere Wahl treffen konnte, als die des Gastroknemius. Wie man jetzt sieht, können an diesem Muskel die elektrischen Gegensätze fast in voller Stärke bestehen, ohne dass zwischen Haupt- und Achillessehne oder sonst zwei verschieden hohen Punkten am Muskel ein Strom bemerkbar zu sein braucht. Der aus seiner natürlichen Umgebung entfernte Muskel kann aufsteigend wirken, während *in situ* der Muskel wirkungslos war, oder gar absteigend wirkte.

Zweitens zeigen diese Versuche auch unmittelbar, dass am Kniespiegel die elektrischen Gegensätze unter Umständen vorhanden sind, wo von schädlichen äusseren Einwirkungen nicht wohl die Rede sein kann. Der Kniespiegel ist im Inneren des Muskels vor Trockniss, Berührung mit Luft oder Hautsecret geschützt, und es scheint undenkbar, dass die elektromotorischen Kräfte, als deren Sitz er mittels eines an sich ganz harmlosen Kunstgriffes erkannt wird, nicht präexistiren sollten, dass sie durch schädliche Einflüsse erst im Versuch sollten entstanden sein (Vergl. oben S. 588. 589).

Hr. Hermann wird jetzt vielleicht behaupten wollen, dass der Strom nicht vom ganzen Kniespiegel ausgehe, sondern, wie bei Anätzung des Sehnenstreifes der Tibialfläche, nur von den oberen Enden der oberflächlichen Bündel, von denen man sich eher vorstellen kann, dass sie schädlichen Einflüssen zu-

gänglich seien. Da er indess als Stromquell die Berührung lebender und absterbender Muskelsubstanz ansieht, so muss er alsdann erklären, warum nur die Enden der Bündel und nicht auch diese selber in ihrem Verlaufe jenen schädlichen Einflüssen unterliegen, denen sie doch in allen Punkten ihrer Länge gleich sehr ausgesetzt sind. Nur indem er der Reihe seiner Hypothesen *ad hoc*, deren keine er bisher wahrscheinlicher zu machen vermochte, die neue Hypothese *ad hoc* einer besonderen Verletzbarkeit der Bündelenden hinzufügt, kann er, wie mir scheint, dieser misslichen Lage sich entziehen.

Hr. Victor Hensen, der neuerdings, wenn auch aus anderem Gesichtspunkte als Hr. Hermann, die Lehre von der Parelektronomie umzugestalten versucht hat[1]), nimmt eine solche besondere Verletzbarkeit der Bündelenden an, und sucht sie durch die weitere Annahme zu begründen, dass die Bündel an den Enden wachsen, hier also die Muskelsubstanz „so eben erst gebildet, noch unvollendet" sei. Er fragt sich, wie der Muskel in die Länge wachse? Dies geschehe weder durch Untergang alter und Entstehung neuer Fasern, denn man sehe keine degenerirten Fasern; noch durch Vermehrung der Querscheiben im Verlaufe der Bündel, denn die Querscheiben zeigen überall gleiche Beschaffenheit: also erfolge Verlängerung der Fasern an ihren Enden. Man weiss indess, was solche Deductionen in unserer Wissenschaft werth sind. Wo uns jede andere Möglichkeit ausgeschlossen scheint, findet die Natur noch einen ungeahnten Ausweg. Niemand, auch Hr. Hensen nicht, hat bisher an den Bündelenden mit Sicherheit etwas Besonderes bemerkt. Selbst dann wäre noch viel zu thun um zu beweisen, dass die bemerkte Besonderheit vom Wachsen der Bündel an ihren Enden herrühre, dass deshalb die Bündel dort verletzbarer seien, und dass dies die von mir der parelektronomischen Schicht zugeschriebenen Erscheinungen erkläre.

Es giebt, ohne jede Hypothese, längst eine handgreifliche

---

1) Arbeiten aus dem Kieler physiologischen Institut. 1868. Kiel 1869. S. 17.

physiologische Thatsache, welche die Vermuthung besonderer Verletzbarkeit der Bündelenden meines Erachtens schlagend widerlegt. Es ist die, dass Gastroknemius und Triceps femoris[1]) unter gleichen Umständen sehr viel (bei 0° etwa zehnmal) länger als Gracilis und Semimembranosus die Trennung vom Organismus überleben.[2])

Auf dem Unterschied in der Masse der Muskeln kann der Unterschied in der Dauer des Ueberlebens nicht beruhen. Die Massen des Gracilis, Semimembranosus, Gastroknemius und Triceps verhalten sich zu einander etwa wie 1·00:1·12:1·31:1·75. Der Unterschied namentlich zwischen den Massen des Semimembranosus und des Gastroknemius ist zu klein, um den Unterschied in der Dauer des Ueberlebens zu erklären; auch leben Gracilis und Semimembranosus nicht länger, wenn man sie als Einen Muskel präparirt. Der Unterschied kann auch nicht daher rühren, dass man die regelmässigen Muskeln leicht beim Zurichten an den Enden verletzt (s. oben S. 592); denn absichtlich viel schwerer verletzte Gastroknemien und Tricipites leben weit länger als auf das Sorgfältigste dargestellte regelmässige Muskeln. Er wird nicht dadurch herbeigeführt, dass wegen des Nerveneintrittes am Muskelkopfe den untersten Gastroknemiusbündeln eine längere Nervenstrecke erhalten bleibt, als den Bündeln der regelmässigen Muskeln. Denn in einer auf diesen Punkt gerichteten Untersuchung gelangte Hr. Munk zu dem merkwürdigen, noch nicht weiter aufgeklärten Ergebniss, dass Gastroknemien, denen ein langes Stück Nerv gelassen wird, früher sterben als solche, deren Nerv kurz abgeschnitten ist.[3]) Der einzige Unterschied zwischen den kurz- und langlebigen Muskeln, der hier in Betracht kommen kann, ist, dass Gastroknemius und Triceps sehr viel kürzere Fasern, dafür aber sehr viel grösseren Querschnitt haben

---

1) D. h. dessen innerster Kopf. Vergl. dieses Archiv, 1863, S. 613.

2) Aem. du Bois-Reymond, De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Berolini MDCCCLIX. 4°. p. 15. Nota 2; — Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 610.

3) Posner's Allgemeine Medicinische Central-Zeitung. XXIX. Jahrgang. 28. Jan. 1860. S. 57.

als Gracilis und Semimembranosus. Die Bündel des Gastroknemius sind dreieinhalb- bis siebenmal kürzer als der Muskel selber,[1]) und da die Länge des Gastroknemius nur dreiviertel von der Länge der regelmässigen Muskeln beträgt, fünf- bis neunmal kürzer als diese Muskeln. Ginge am mechanisch unversehrten Muskel der Tod von der Sehne aus, so müssten Gastroknemius und Triceps schneller sterben, als Gracilis und Semimembranosus. Wenn auch bei weitem die meisten Gastroknemiusbündel nur mit einem Ende an freie Sehnenhaut, den Achillesspiegel, stossen, so müsste bei gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Vorgang des Absterbens die fünf- bis neunmal kürzeren Bündel von einem Ende aus doch in $\frac{1}{2 \cdot 5}$ bis $\frac{1}{4 \cdot 5}$ der Zeit durchlaufen, die derselbe Vorgang von beiden Enden aus in den regelmässigen Muskeln dazu braucht. Es ist wohl im Gegentheil klar: eine Begrenzung, deren vergleichsweise grössere Ausdehnung an der Oberfläche des Muskels diesem längeres Ueberleben sichert, kann nicht für ihn die Todespforte, die *Pars minoris resistentiae* sein. Der Grund, weshalb die langfasrigen Muskeln kurzlebig, die kurzfasrigen langlebig sind, ist der, dass in ersteren alle Bündel vom Längsschnitt aus schädlichen Einflüssen schneller zugänglich sind, während das Innere der kurzfasrigen Muskeln, durch die derben Sehnenspiegel gegen Verletzung vom Querschnitt aus geschützt, vom Längsschnitt aus erst spät von den schädlichen Einflüssen erreicht wird.

Es fehlt somit nicht nur an jedem sicheren theoretischen Grunde, den Bündelenden besondere Verletzbarkeit zuzuschreiben, sondern diese Annahme ist auch im unmittelbaren Widerspruch mit Thatsachen. Hr. Hermann dürfte also auch nicht behaupten, dass der durch Nebenschliessung sichtbar gemachte Kniespiegelstrom nur von den oberflächlichen Bündeln herrühre. Dann aber präexistiren die elektrischen Gegensätze an dem in der Tiefe des Muskels jedem schädlichen Einfluss entzogenen Kniespiegel.

Es wäre übrig, vom gegenwärtigen Stand unserer Kennt-

---

1) Dieses Archiv, 1863, S. 531.

niss aus, die verschiedenen Erscheinungsweisen des Gastroknemiusstromes in der Parelektronomie genauer auf ihre Ursachen zurückzuführen. Dies ist jetzt darum schwierig, weil der Möglichkeiten, zwischen denen zu entscheiden wäre, so viele wurden. Ich habe daher auch nur Muthmaassungen hier mitzutheilen.

Sinkt die Kraft beider Spiegel in gleichem Maasse, so muss die vorhandene, auf- oder absteigende Resultante in demselben Maass abnehmen. Wenn Aufenthalt der lebenden Thiere in der Kälte die Kraft des natürlichen Querschnittes vermindert, ergiebt sich also daraus keine absteigende Wirkung des Muskels, sondern um diese zu erklären ist anzunehmen entweder, dass der Achillesspiegel mehr als der Kniespiegel durch Kälte leide, oder dass seine Kraft sich umkehre, oder endlich dass die Kraft beider Spiegel sich umkehre, der Achillesspiegel aber die Oberhand habe. Ich sah ziemlich oft, dass die schwach aufsteigende Kraft stark parelektronomischer Gastroknemien, welche zwischen den Zuleitungsgefässen im Kreise der Bussole sich befanden, noch weiter sank, ja sich umkehrte (vgl. oben S. 598. 599). Man braucht dabei nicht in allen Fällen an sinkende Kraft des Achillesspiegels, oder wachsende Kraft des Kniespiegels zu denken. Die Erscheinung erklärt sich vielleicht auch einfach daraus, dass die Muskeln kalt aufgelegt wurden, und ihr Widerstand mit der Erwärmung sank. Geschieht dies überall gleichmässig, so kann die Folge nur Verstärkung der vorhandenen Resultante sein. Bei der nach der Achillessehne zu verjüngten Gestalt des Muskels ist aber denkbar, dass durch die schnellere Erwärmung der unteren Muskelhälfte die Nebenschliessung für den Achillesspiegelstrom schneller wuchs als die für den Kniespiegelstrom, und so dieser begünstigt wurde.

Kürzehalber habe ich in dieser Abhandlung meist nur den Gastroknemius genannt. Dieselben Erfolge lassen sich aber am Triceps erhalten, der bekanntlich in der Hauptsache dem Gastroknemius ähnlich gebaut ist. Auch hier bewirken Milchsäurescheibchen um so grössere Zuwachse in aufsteigendem Sinne, je tiefer sie angelegt werden. Auch hier kehrt sich

der aufsteigende Strom um, wenn der Muskel in Thon gehüllt wird, ja noch leichter als am Gastroknemius, z. B.:

Triceps frei + 154 Cgr.; in Thon − 63;
„ + 94 „ ; „ „ − 100;
„ + 71 „ ; „ „ − 116;
u. s. f.

Daher auch alle am Triceps angestellten, auf Präexistenz des Muskelstromes bezüglichen Versuche, Nichts bedeuten.